

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde  
Des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg  
Und des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Abteilung für Kieferorthopädie  
Komm. Leiter: Prof. Dr. Hans Pancherz

---

**Die Bestimmung des Wachstumsspurtes anhand der Entwicklung  
der Halswirbel als Kriterium für die skelettale Reife.**

Inaugural-Dissertation  
Zur  
Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich der Medizin der  
Philipps-Universität Marburg  
Vorgelegt von

**Michael Dietz-Magel**

Aus Grebenau

Marburg an der Lahn 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin

Der Philipps-Universität Marburg am: 11.12.2008

Gedruckt mit freundlichen Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Professor Dr. M. Rothmund

Referent: Professor Dr. J.M.H Dibbets

Korreferent: : Professor Dr.Hans Pancherz

Gewidmet meiner Mutter Doris Dietz-Magel  
und  
meinem Vater Dr. Burckhard Dietz-Magel

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>6</b>
1.1	Optimaler Behandlungszeitpunkt in der Kieferorthopädie .....	6
1.2	Bestimmung der skelettalen Reife .....	8
1.2.1	Körperlängenwachstum .....	8
1.2.2	Handröntgenaufnahme .....	9
1.2.3	Halswirbelsäule (Reifestadium der Halswirbelkörper) .....	12
1.3	Entwicklung von Körperlänge und Gesichtsschädel .....	14
1.3.1	Zeitpunkt des maximalen Wachstums .....	14
1.3.2	Zusammenhang zwischen Unterkiefer- und HWS-Entwicklung .....	15
1.4	Zielsetzung.....	18
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>19</b>
2.1	Datenmaterial .....	19
2.1.1	Groninger Grundschuluntersuchung.....	19
2.1.2	Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“ .....	20
2.1.3	Beurteilung der Fernröntgenseitenbilder (FRS) .....	21
2.2	Datenerfassung (Ausgangsmaterial) .....	21
2.3	Methode.....	22
2.3.1	Methode nach San Roman .....	22
2.3.2	Methode nach Lamparski .....	24
2.3.3	Ossifikationspunkt .....	27
2.3.4	HWS-Methoden in Bezug zum Wachstumsspur am Handskelett .....	28
2.3.5	Zeitpunkt des maximalen Wachstumsschubes der Mandibula .....	29
2.3.6	Verlauf der skelettalen Entwicklung bei früh- oder spätreifen Probanden .....	31
2.4	Statistik .....	34

<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Intrabeobachter-Fehler.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Reifestadium .....</b>	<b>41</b>
3.2.1	HWS-Methode nach Lamparski.....	41
3.2.2	HWS-Methode nach San Roman .....	42
3.2.3	Ossifikationspunkt .....	45
<b>3.3</b>	<b>Zusammenhang zwischen skelettalem Alter und HWS-Methode.....</b>	<b>46</b>
3.3.1	Lineare Regression .....	46
<b>3.4</b>	<b>Skelettale Entwicklung bei früh- und spätreifen Probanden .....</b>	<b>51</b>
<b>3.5</b>	<b>Wachstumsschub der Mandibula.....</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Intrabeobachter-Fehler.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2</b>	<b>Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Reifestadium .....</b>	<b>56</b>
4.2.1	HWS-Methode nach Lamparski.....	57
4.2.2	HWS-Methode nach San Roman .....	59
4.2.3	Ossifikationspunkt .....	62
<b>4.3</b>	<b>Lineare Regression.....</b>	<b>63</b>
<b>4.4</b>	<b>Skelettale Entwicklung bei früh- und spätreifen Probanden .....</b>	<b>67</b>
<b>4.5</b>	<b>Wachstumsschub der Mandibula.....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>87</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Optimaler Behandlungszeitpunkt in der Kieferorthopädie

Kieferorthopädische Zahnregulierungen sind heutzutage grundsätzlich zu jedem Zeitpunkt möglich. In Abhängigkeit der zeitlichen Phase der Therapie unterscheidet man die Früh-, Normal-, Spät- und Erwachsenenbehandlung. Die Normalbehandlung, die in der Kieferorthopädie zahlenmäßig auch die größte Rolle spielt, findet hierbei in der zweiten Wechselgebissphase statt. Diese Phase entspricht der sogenannten adoleszenten Wachstumsphase. Sie ist in der Regel durch ein beschleunigtes Wachstum bzw. durch einen Wachstumsschub charakterisiert. Das Wachstum wiederum stellt in der Kieferorthopädie einen entscheidenden Faktor dar. In Abhängigkeit von der Wachstumsphase kann die kieferorthopädische Behandlung positiv beeinflusst werden; der therapeutische Erfolg kann jedoch in Abhängigkeit der Phase auch behindert oder im Extremfall sogar verhindert werden. Es ist deshalb von großem Interesse für die Therapieplanung, das zu erwartende Kieferwachstum möglichst genau abschätzen zu können (Kallmeyer 2001).

Der therapeutische Erfolg in der Kieferorthopädie hängt ganz entscheidend von der Wahl des richtigen Zeitpunkts für den Behandlungsbeginn ab. Van der Linden (1996) definiert die Kriterien einer kieferorthopädischen Behandlung wie folgt: Der Behandlungsbeginn sollte so gewählt werden, dass eine möglichst kurze Behandlungsdauer ermöglicht wird. Potentielle Schäden und die behandlungsbedingten Belastungen des Patienten sollten auf ein Minimum beschränkt werden. Durch die Wahl des richtigen Zeitpunkts sollte die höchste Wirksamkeit der Behandlung und somit das bestmögliche Endergebnis gewährleistet sein. Diese Ziele werden am besten realisiert, wenn versucht wird, die Gebissentwicklung, das Gesichtswachstum und die Anpassungsfähigkeit des skelettalen Gewebes optimal auszunutzen (van der Linden 1996).

Das Ziel der modernen Kieferorthopädie soll es also sein, unter Anwendung aller verfügbaren biologischen und anatomischen Kenntnisse, eine möglichst effektive Behandlung durchzuführen und dies bei gleichzeitig geringstmöglichem Schaden für den Patienten. Der

richtig gewählte Behandlungsbeginn spielt dabei eine entscheidende Rolle (Schwarze 2000).

Das Verständnis für das Entwicklungsmuster des Heranwachsenden ist eine der Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung. Viele Therapien führen innerhalb einer kürzeren Zeit zu einem besseren Ergebnis, wenn diese gut mit dem fazialen Wachstumsmuster korrelieren (Sadowsky 1998). Das Lebensalter des Patienten, also das chronologische Alter, stellt für den Behandlungsbeginn jedoch allenfalls eine grobe Orientierungshilfe dar. Während beim Erwachsenen mit gesundem Parodont grundsätzlich jederzeit mit einer kieferorthopädischen Behandlung begonnen werden kann, sind bei Kindern einige Kriterien für die Wahl des günstigsten Zeitpunktes zu berücksichtigen: Dentitionsalter, skelettales Alter sowie Art und Ausmaß der Anomalie. Daneben sollte nach Möglichkeit auch die psychosomatische Entwicklung berücksichtigt werden, da die Behandlung einerseits eine Belastung für das Kind darstellt und andererseits auch eine ausreichende Compliance erforderlich ist (Schwarze 2000).

Für eine effiziente kieferorthopädische Behandlung ist es von großem Interesse, die Wachstumseigenschaften des Kiefers möglichst genau zu kennen. Dabei ist der sogenannte puberale Wachstumsschub von ganz besonderer Bedeutung, welcher während der Pubertät ein Intervall kennzeichnet, das durch ein deutlich beschleunigtes Längenwachstum gekennzeichnet ist (Kallmeyer 2001).

Der Zeitpunkt des puberalen Wachstumsschubes ist jedoch individuell sehr unterschiedlich. So tritt dieser Wachstumsschub zum Beispiel bei Mädchen etwa zwei Jahre früher auf als bei Jungen: bei den Mädchen mit etwa 10 und bei den Jungen mit etwa 12 Jahren. Hinzu kommt, dass ethnische Faktoren und Umweltbedingungen einen Einfluss auf das Alter haben können, in welchem der puberale Wachstumsschub stattfindet. Da das Alter kein geeigneter Parameter ist, um das skelettale Wachstum bzw. den Wachstumsschub bestimmen zu können, müssen andere Merkmale herangezogen werden, um den Verlauf des Kieferwachstums beurteilen zu können (Kallmeyer 2001).

## 1.2 Bestimmung der skelettalen Reife

Wie weiter oben bereits ausgeführt spielt der richtige Zeitpunkt eine entscheidende Rolle bei der kieferorthopädischen Behandlung von Kindern. Gleichzeitig ist jedoch ohne Zweifel das chronologische Alter für die Wahl dieses Zeitpunktes vollkommen unzureichend, wie sich ebenfalls aus den obigen Ausführungen ergibt. Das bestimmende Maß ist vielmehr das biologische bzw. das skelettale Alter (Hunter 1966).

Da sich das chronologische Alter nicht für die Beurteilung des biologischen bzw. des Knochenalters eignet, wurde eine Reihe verschiedener Indikatoren entwickelt, um den idealen Zeitpunkt einer kieferorthopädischen Behandlung bestimmen zu können. Diese Indikatoren beinhalten geschlechtliche Entwicklungsmerkmale, wie zum Beispiel die Menarche bei den Mädchen oder den Stimmbruch bei den Jungen (Fishman 1979; Hägg und Taranger 1980a; Hägg und Taranger 1982b; Demirjian 1985), die Zahnentwicklung (Hägg und Matson 1985; Hägg und Taranger 1985), die Größe bzw. den Verlauf des Körperwachstums (Green 1961; Hunter 1966; Björk und Helm 1967) und die Entwicklung der Hand- bzw. Handgelenksknochen (Houston et al. 1979; Hägg und Taranger 1980; Fishman 1982).

### 1.2.1 Körperlängenwachstum

Die Größe eines Kindes bzw. die Körperlänge als solches ist ein nur wenig aussagekräftiger Parameter zur Beurteilung des biologischen Alters. Ein Kind, das für sein Alter schon groß ist, könnte entweder weiterentwickelt sein als seine gleichaltrigen Kameraden, es könnte aber auch einfach ein großes Kind sein, das ein normales skelettale Alter aufweist, und das später, als erwachsener Mensch, zu den überdurchschnittlich großen Menschen gehört (Tanner et al. 1975). Ein sehr guter Indikator für das Wachstum des Gesichtsskeletts bzw. für das mandibuläre Wachstum ist hingegen die Zunahme des Körperlängenwachstums. Zahlreiche Studien konnten bereits in den 1960er und 1970er Jahren eine Assoziation zwischen dem Zeitpunkt des maximalen Kieferwachstum und dem maximalen Körper-



längenwachstum während der Pubertät aufzeigen (Singh et al. 1967; Bergersen 1972; Fishman 1979). Nachteilig bei dieser Methode ist allerdings, dass wiederholte Messungen durchgeführt werden müssen, um eine aussagekräftige Wachstumskurve zu erhalten, was trotz der Einfachheit der Methode nicht immer möglich ist (Björk und Helm 1967; Arat et al. 2001). Aus diesem Grund wurde nach Alternativen zur Beurteilung des skelettalen Alters gesucht, wie sie zum Beispiel mit einer Handröntgenaufnahme oder der Beurteilung des Reifestadiums der Halswirbelkörper möglich ist.

### **1.2.2 Handröntgenaufnahme**

Handröntgenaufnahmen werden in der Kieferorthopädie seit längerem routinemäßig eingesetzt, um das skelettale Alter zu bestimmen oder den Zeitpunkt des maximalen Wachstumsspurts prognostizieren zu können (Chapman 1972; Grave und Brown 1976; Houston und Miller 1979). Die Idee dieser Methode reicht fast bis in die Anfänge der Röntgentechnik zurück. So publizierte zum Beispiel bereits im Jahr 1928 Hellman seine Beobachtungen über die altersabhängigen epiphysalen Ossifikationen an den Händen (Hellman 1928).

Die Handröntgenaufnahme kann als Indikator für das allgemeine skelettale Wachstum herangezogen werden. So sind bestimmte skelettale Entwicklungsstadien der Hand und der Handgelenke eng mit dem puberalen Wachstumsspurt assoziiert, der im Zusammenhang mit einer kieferorthopädischen Behandlung von großer Bedeutung ist (Greulich und Pyle 1959; Björk und Helm 1967; Björk 1972; Bergersen 1972; Hägg und Taranger 1980).

Schon in frühen Studien aus den 1970er Jahren konnte gezeigt werden, dass sowohl der Zeitpunkt des puberalen Körperlängenwachstumsschub als auch das mandibuläre Wachstum eng mit spezifischen radiologischen Veränderungen der Hände bzw. der Handgelenke assoziiert sind (Tofani 1972; Bergersen 1972).

Die Röntgenuntersuchung der Hand entwickelte sich deshalb zu einer noch heute gängigen Methode um zu prüfen, in welchem Stadium sich das puberale Wachstum befindet oder ob dieses bereits beendet ist (Houston 1980).

Die skelettale Reife lässt sich radiologisch an einer Reihe verschiedener Merkmale beurteilen. Solche Merkmale umfassen das Vorhandensein von Ossifikationszentren, Veränderungen von Größe und Form der Knochen sowie Fusionen oder nicht-Fusionen von Epiphysen verschiedenster skelettaler Strukturen, wie zum Beispiel an den Händen. Die am meisten verbreiteten Standards sind jene, wie sie von Greulich und Pyle (1959) sowie von Tanner et al. (1975) (TW2-Methode) entwickelt wurden. Einsatz findet in der Kieferorthopädie jedoch auch die Anfang der 1980er Jahre entwickelte Methode von Fishman (1982).

Die Greulich und Pyle Methode (Atlas-Methode), wie sie ursprünglich beschrieben wurde, umfasst einen komplexen Vergleich aller Knochen der Hand und der Handgelenke gegenüber Referenz-Röntgenaufnahmen von als normal definierten Kindern verschiedener Altersstufen. Bis zum ersten Lebensjahr wurden dabei vier Altersstufen definiert, anschließend bis zum sechsten Lebensjahr jeweils zwei pro Lebensjahr, danach wurden die Intervalle auf 12 Monate ausgedehnt. Die Basis des Greulich und Pyle Atlas bildeten die Handröntgenaufnahmen von 1000 gesunden kaukasischen Kindern amerikanischer Abstammung, die zwischen 1931 und 1942 im Rahmen einer vorangegangenen Untersuchung angefertigt worden waren. Bei der Definition des skelettalen Alters ging man folgendermaßen vor: Von allen Kindern einer Altersgruppe, also zum Beispiel von der Gruppe der sechsjährigen Kinder, wurden die Röntgenaufnahmen vom geringsten bis zum stärksten Reifestadium sortiert. Als Standard für das Knochenalter wurde dann der Median jener Bildreihe gewählt. Im zweiten Schritt wurden dann alle Knochen und alle vorhandenen Ossifikationszentren dieser Referenzbilder genau beschrieben (Greulich und Pyle 1959).

Bei der Altersbestimmung nach Tanner und Whitehouse (TW2-Methode) handelt es sich um ein Score System, bei dem für ausgewählte Knochen der jeweilige Reifegrad bestimmt und entsprechend ein Punktwert (TW2-Methode) handelt es sich um ein Score System, bei dem für ausgewählte Knochen der jeweilige Reifegrad bestimmt und entsprechend ein Punktwert zugeordnet wird. Beurteilt werden Verknöcherung und Morphologie von 20

Knochen der Hand und des Handgelenkes. Aus der Summe der Punkte ergibt sich dann das Knochenalter. Die Normwerte wurden zum größten Teil aus Longitudinalstudien von englischen Kindern in den 1960er und 1970er Jahre gewonnen. Es wird nicht, wie bei Greulich-Pyle, das Knochenalter der Epiphysenkerne, sondern die Stadien mit Punktwerten bestimmt. Dadurch eignet sich die Methode zur Erstellung von Normwerten für verschiedene Populationen und ethnische Rassen. Außerdem ist die Methode nach Tanner und Whitehouse der Greulich-Pyle-Methode durch Gewichtung der Knochen und der dadurch kleineren Knochenzahl (2. und 4. Strahl werden nicht bestimmt) zeitlich deutlich überlegen (Tanner und Whitehouse 1976). Heute wird in der Regel die aktualisierte Version dieses Verfahrens, die TW3-Methode eingesetzt (Tanner et al. 2001).

Leonard S. Fishman entwickelte Anfang der 1980er Jahre ein System um das skelettale Alter mit Hilfe von Hand-Röntgenaufnahmen zu bestimmen bzw. zu klassifizieren, das sog. Skeletal Maturation Assessment (SMA). Das System basiert auf der Beobachtung verschiedener Ossifikationsentwicklungen im Bereich der Finger, der Phalangen, der Karpalknochen und des Radius. Fishman verglich diese Prozesse mit dem puberalen mandibulären Wachstumsspurt und fand enge Korrelationen zwischen dem Ossifikationsprozess der Hand bzw. der Handgelenke und dem mandibulären Wachstumsstadium. Er definierte in seinem SMA-System vier verschiedene Ossifikationsstadien (Fishman 1982).

Zu berücksichtigen ist beim Verfahren der radiologischen Altersbestimmung mittels der Handröntgenaufnahme, dass ab etwa dem achten Lebensjahr das Wachstum bei Mädchen schneller abläuft als bei Jungen. So erreichen in Bezug auf die Reife der Handknochen Mädchen bereits mit 16 Jahren ihr endgültiges skelettales Reifestadium, Jungen hingegen erst mit 18 Jahren (Grave und Brown 1976; Kimura 1977; Gandini et al. 2006).

Handröntgenaufnahmen haben sich in der Kieferorthopädie als zuverlässiges Instrument erwiesen, um den Zeitpunkt des puberalen Wachstumsschubs abschätzen zu können. Allerdings gibt es auch Vorbehalte gegenüber dieser Methode, da sie mit einer zusätzlichen Strahlenbelastung verbunden ist. In den britischen kieferorthopädischen Richtlinien (British Orthodontic Society Guidelines) findet sich die Feststellung, dass Handröntgenaufnahmen gar nicht indiziert sind, um den Beginn des puberalen Wachstumsspurts vorherzu-

sagen (Isaacson und Thom 2001). Diese Aussage zielt ohne Zweifel auf die heute vorhandenen Alternativen ab, wie sie vor allem durch die Beurteilung des skelettalen Alters anhand der Halswirbelkörper gegeben sind.

### **1.2.3 Halswirbelsäule (Reifestadium der Halswirbelkörper)**

Die seitliche Röntgenaufnahme der Halswirbelsäule kann eine Alternative zur Handröntgenaufnahme darstellen, da in der modernen Kieferorthopädie regelmäßig eine Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) zur Beurteilung des Gesichtsskeletts vorliegt und ein zusätzliches Röntgenbild der Hand insofern verzichtbar wäre (Pancherz und Szyska 2000).

Fernröntgenseitenbilder werden erstellt, um die skelettalen Verhältnisse des Gesichts vermessen zu können. Es ist die am häufigsten angewandte Methode, um objektive Messdaten der skelettalen Situation zu erhalten. FRS erlauben eine schädelbezogene Lage- und Größenbestimmung der Kieferbasen, eine Messung der Achsenstellung der Front- und Seitenzähne, eine metrische Analyse der Gesichtsschädelstrukturen, eine Differenzierung dentoalveolärer Anomalien und Entwicklungen sowie die Bestimmung und Voraussage von Richtung und Ausmaß der Wachstums- bzw. therapiebedingten Veränderungen des Gesichtsschädels (Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO 1997).

Die Grundlage für die skelettale Altersbestimmung mittels Fernröntgenseitenaufnahmen der Halswirbelsäule wurde mit den Studien von Lamparski gelegt (Lamparski und Nanda 2002). Zwar wurden bereits in früheren Studien alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede der Halswirbelkörper aufgezeigt, jedoch wurden hierbei keine Standards festgelegt (Hassel und Farman 1995). Erst Lamparski nahm eine standardisierte Einteilung vor, indem er sechs verschiedene Stadien der Reifung festlegte bzw. beschreibend definierte (Lamparski 1972).

Da heutzutage im Allgemeinen eine Bleischürze verwendet wird, um die Schilddrüse vor unnötiger Strahlenbelastung zu schützen, wird die vollständige Sicht auf die Halswirbel-

säule leider behindert. Deshalb wurde von Hassel und Farman (1995) ein neuer Index des CVM-Stadium (cervical vertebral maturation) erstellt, bei welchem nur der zweite, dritte und vierte Wirbelkörper in der Seitenaufnahme berücksichtigt wird (CVMI: cervical vertebral maturation index). In Anlehnung an den Index von Lamparski legten sie ebenfalls sechs Stadien bzw. Kategorien fest, um das skelettale Alter zu klassifizieren (Hassel und Farman 1995). Gleichzeitig war diese Einteilung eng mit der Handröntgen-Altersbestimmung assoziiert, wie sie von Fishman vorgenommen worden war (Fishman 1982). Hassel und Farman gelangten zu der Überzeugung, dass die Veränderungen der Wirbelkörperform (Konkavität des inferioren Endes und vertikale Höhe) herangezogen werden können, um die skelettale Reife und das noch zu erwartende Restwachstumspotential bestimmen zu können (Hassel und Farman 1995). In weiteren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Methode auch unabhängig von ethnischen Unterschieden geeignet ist (Garcia-Fernandez et al. 1998).

Später wurde die CVM-Methode mit dem Ziel weiterentwickelt, einen Bezug zum Kieferwachstum herzustellen. Die bis dahin festgelegten sechs CVM-Stadien wurden auf nunmehr nur noch fünf Stadien reduziert (CVMS I bis CVMS V; CVMS steht für: cervical vertebral maturation stage) (Baccetti et al. 2002).

Dass die Beurteilung der Wirbelkörper des seitlichen Schädel-Röntgenbildes im Hinblick auf das skelettale Alter auch gut mit der Hand-Röntgenmethode korreliert, konnte bereits in mehreren Untersuchungen nachgewiesen werden (Kucukkeles et al. 1999; Pancherz und Szyska 2000; San Roman et al. 2002; Uysal et al. 2006). So zeigte sich in einer aktuelleren Studie, dass das CVMS I mit den Björk-Stadien 1-3, das CVMS II mit dem Björk-Stadium 4, das CVMS III mit dem Björk-Stadium 5, das CVMS IV mit dem Björk-Stadium 6/7 und das CVMS V mit dem Björk-Stadium 8/9 korreliert (Gandini et al. 2006). Darüberhinaus konnte auch gezeigt werden, dass die Reifestadien der Wirbelkörper mit dem Längenwachstum korrelieren. Die radiologische Beurteilung der Wirbelkörper 2 bis 4 eignet sich demnach ebenso gut wie die Handröntgen-Methode, um das skelettale Alter zu bestimmen bzw. um eine Prognose hinsichtlich des Wachstums und den puberalen Wachstumsschubs machen zu können (Pancherz und Szyska 2000).

In der aktuellsten vorliegenden Publikation aus dem Jahr 2008 wird ebenfalls nochmals deutlich bestätigt, dass das CVM-Stadium ein zuverlässiger Parameter für die Beurteilung des skelettalen Alters ist, der eine hohe Korrelation zur Hand-Röntgenmethode aufweist (Alkhal et al. 2008).

## **1.3 Entwicklung von Körperlänge und Gesichtsschädel**

### **1.3.1 Zeitpunkt des maximalen Wachstums**

Es ist schon seit längerem bekannt und auch von mehreren Autoren beschrieben worden, dass das Gesichts- bzw. das Schädelwachstum mit dem allgemeinen Wachstum, also mit dem Körperlängenwachstum korreliert. Der Längenwachstumsschub soll dabei dem Schädelwachstumsschub etwa 6 bis 12 Monate vorausgehen (Bambha 1961; Johnston et al. 1965; Grave 1974; Hassel und Farman 1995). Dies scheint jedoch nicht ganz unumstritten. So stellte zum Beispiel Hunter Mitte der 1960er Jahre fest, dass das maximale Wachstum des Gesichts in den meisten Fällen (57%) mit dem puberalen Wachstumsspurt zusammenfiel. Nur in 29 Prozent der Fälle trat das maximale Gesichtswachstum zeitlich nach dem maximalen Längenwachstum auf; in den verbleibenden 14 Prozent lag das maximale Gesichtswachstum sogar vor dem puberalen Wachstumsspurt (Hunter 1966). In einer späteren Studie, in welcher ebenfalls die Größe (Körperlänge) mit verschiedenen Mess-Strecken des Gesichts verglichen wurde, konnte ebenfalls nicht gezeigt werden, dass das Gesichtswachstum bzw. der entsprechende Wachstumsspurt dem puberalen Wachstumsspurt zeitlich nachgelagert ist. Vielmehr fand man hier keinen Unterschied zwischen dem Körperlängenwachstumsspurt und dem Gesichtswachstumsspurt (Bergersen 1972). Andere Autoren konnten die Zeitgleichheit zwischen puberalem und Gesichtswachstumsspurt ebenfalls bestätigen (Brown et al. 1971; Grave 1974; Thompson und Popovich 1973; Lewis et al. 1985). Moore et al. (1990) führen aus, dass in deren Studien nur schwache Signifikanzen zwischen dem Schädelwachstumsspurt und dem puberalen Wachstumsspurt vorlagen. Ferner zeigte sich in jener Untersuchung, dass nicht alle Mess-Strecken des Gesichtsschä-

dels gleichermaßen einen Wachstumsspurt aufweisen. So lag der Wachstumsspurt dieser Mess-Strecken zum Teil zeitlich nach dem puberalen Wachstumsspurt, konnte jedoch auch zeitlich mit dem puberalen Wachstumsspurt zusammenfallen (Moore et al. 1990). Dies könnte zumindest teilweise die Diskrepanzen zwischen den verschiedenen Studien erklären, die durchgeführt wurden, um die Zusammenhänge zwischen Längen- und Gesichtswachstum aufzuzeigen.

### **1.3.2 Zusammenhang zwischen Unterkiefer- und HWS-Entwicklung**

Im Hinblick auf das kraniofaziale Wachstum bzw. das Kieferwachstum wird dem mandibulären Wachstum eine ganz besondere Aufmerksamkeit zuteil, weil sich diese Knochenstruktur während der Adoleszenz am stärksten vergrößert, was vor allem für die Kieferorthopädie von entscheidender Relevanz ist (Gomes und Lima 2006).

Zum besseren didaktischen Verständnis kann man vereinfacht davon ausgehen, dass der Verlauf des Körperlängenwachstums (Wachstumsverlaufskurve) in etwa dem Muster des mandibulären Wachstums entspricht. Tatsächlich weist das mandibuläre Wachstum allerdings eine große Variabilität hinsichtlich Umfang, Beschleunigung und Zeitpunkt auf (Sato et al. 2001). Gleichzeitig gibt es verschiedene Methoden, die dazu dienen, das mandibuläre Wachstum vorauszusagen. Unklarheit herrscht allerdings hinsichtlich der Frage, welche Methode die größte Präzision aufweist (Sato et al. 2001).

Mitani und Sato (1992) verglichen explizit das Kieferwachstum mit anderen Wachstumsparametern, wie etwa dem Längenwachstum des Körpers, den Phalangen der Hand oder dem Knochenalter. Sie stellten fest, dass das mandibuläre Wachstum eine viel größere Streubreite aufwies als die anderen Parameter. Der Zeitpunkt des maximalen mandibulären Wachstumsspurts zeigte deutliche Abweichungen zu den anderen Parametern, wie etwa dem maximalen puberalen Wachstumsspurt. Sie konnten zum Beispiel zeigen, dass das Längenwachstum der Phalangen und die Körperlänge (Größe) in 97 Prozent der Fälle synchron abliefen; das Kieferwachstum und das Längenwachstum hingegen verliefen nur

bei 72 Prozent der Probanden synchron (Mitani und Sato 1992). Dennoch scheint das mandibuläre Wachstum, trotz der genannten Streubreite, mit dem skelettalen Alter gut zu korrelieren. So stellen Gomes und Lima (2006) fest, dass die größten mandibulären Wachstumsraten mit dem puberalen Wachstumsschub einhergehen, was vor allem für die Kieferlänge gilt.

Vor dem Hintergrund, dass sich das skelettale Alter sowohl mit der Handröntgen-Methode als auch anhand der Reife der Halswirbelkörper bestimmen lässt (vgl. auch Kap. 1.2.2 und Kap. 1.2.3), versuchten O'Reilly und Yanniello (1988) den Zusammenhang zwischen den Entwicklungsstadien nach Lamparski und dem mandibulären Wachstum darzustellen. Sie konnten zeigen, dass das maximale mandibuläre Wachstum im Intervall zwischen dem 3. und 4. HWS-Reifestadium stattfindet, und dass demgemäß anhand des HWS-Reifestadiums eine Prognose hinsichtlich des mandibulären Wachstumsspurts ermöglicht wird (O'Reilly und Yanniello 1988). Dieses Ergebnis konnte später auch von Franchi et al. (2000) bestätigt werden. Auch hier fand sich der größte mandibuläre Wachstumsspurts im Intervall zwischen dem CVM-Stadium 3 und 4. Außerdem korrelierte diese Phase (Stadium zwischen 3 und 4) gleichzeitig mit dem maximalen puberalen Wachstumsspurts. Der Peak des mandibulären Wachstums stimmte mit dem Peak des Körperlängenwachstums überein. Konkret kamen die Autoren zu dem Schluss, dass bei nordamerikanischen Individuen in fast 95 Prozent (100% bei N=9 Jungen und 87% bei N=15 Mädchen) der Fälle damit gerechnet werden kann, dass sich sowohl das maximale Körperlängenwachstum resp. der puberale Wachstumsspurts als auch der mandibuläre Wachstumsspurts im Zeitraum zwischen dem 3. und 4. CVM-Stadium findet (Franchi et al. 2000). Ferner wurde der Zusammenhang zwischen dem mandibulären Wachstum und dem Wirbelkörper-Reifestadium auch von Baccetti et al. (2002) bestätigt, wobei man in dieser Studie eine neue CVM-Methode angewendet hatte, die anstatt der 6-stufigen nur eine 5-stufige CVM-Skala aufwies. Entsprechend lag hier das Maximum des mandibulären Wachstums zwischen dem 2. und 3. CVM-Stadium (Baccetti et al. 2002).

In einer späteren Studie untersuchten Mito et al. (2003) den Zusammenhang zwischen dem Halswirbelkörperalter (CVM-Stadium) und dem Kieferwachstum, um das mandibuläre Wachstumspotential bestimmen zu können. Die Untersuchung wurde an japanischen Mäd-



chen durchgeführt. Für die Mess-Strecke „Condylon-Gnathion“ entwickelten sie dabei folgende Formel:

$$\text{Mandibuläres Kieferwachstum (in mm)} = -2,76 \times \text{Alter gemäß CVM-Stadium} + 38,68$$

(Standardfehler: 1,79mm; Signifikanz:  $p < 0,001$ )

Dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen Reifegrad der Halswirbelkörper und dem mandibulären Wachstum besteht, konnte auch in zwei aktuellen Studien nochmals gezeigt werden. Der sog. „vertebral maturation index“ (VMI) der Halswirbelsäule korrelierte hochsignifikant mit der Mess-Strecke „Co-Gn“ (Condylon-Gnathion) bzw. mit der Länge des Unterkiefers (Damian et al. 2007). Außerdem konnte wiederum gezeigt werden, dass, wie in den vorangegangenen Studien, das maximale Kieferwachstum bzw. der mandibuläre Wachstumsspurt auf einer 6-stufigen CVM-Skala zwischen dem 3. und 4. Halswirbelkörper-Reifestadium liegt. Als Bezug diene auch hier unter Anderem wieder die Mess-Strecke „Co-Gn“ (Gu et al. 2007).

## 1.4 Zielsetzung

Die Vorhersage von Art und Umfang des kraniofazialen Wachstums stellt eine wertvolle Information bei der Diagnose und der Planung von kieferorthopädischen Behandlungen dar. Das Ergebnis der Therapie hängt maßgeblich mit der Wahl des richtigen Zeitpunktes für den Behandlungsbeginn ab. Grund dafür ist, dass eine bessere und effektivere Therapie dann gegeben ist, wenn diese während der Phase des schnellen Wachstums stattfindet, dem sogenannten Wachstums-Spurt bzw. den puberalen Wachstums-Spurt (engl.: pubertal growth spurt; PGS) (Damian et al. 2007).

Das skelettale Wachstum wird vielfach mittels radiologischer Aufnahmen der Hände und der Handgelenke beurteilt, was zur Folge hat, dass die Patienten, zusätzlich zu den ohnehin schon erforderlichen radiologischen Untersuchungen, einer weiteren Strahlenbelastung ausgesetzt werden müssen. Daher bietet es sich an, die ohnehin oft verfügbaren Standardaufnahmen der kieferorthopädischen Diagnostik zur skelettalen Altersbestimmung heranzuziehen.

Ziel dieser Studie war es, einen Zusammenhang zwischen dem puberalen Wachstumsspurt (definiert durch das Auftreten des Daumen-Sesambeins) und der HWS-Methode (Reifestadium der Halswirbelkörper nach Lamparski bzw. der Methode nach San Roman) aufzuzeigen. Es sollte hierbei geprüft werden inwiefern der Wachstumsspurt mit den Entwicklungsstadien der Halswirbelkörper assoziiert ist bzw. in welchen Stadien der Halswirbelkörperentwicklung der Wachstumsspurt bevorzugt auftritt. Anhand einer Regressionsanalyse sollte ferner untersucht werden, welchen Anteil die einzelnen Merkmale der Halswirbelkörperentwicklung zur Bestimmung des skelettalen Alters beitragen und wie genau mit diesen Merkmalen eine Schätzung des skelettalen Alters möglich ist. Ein sekundäres Ziel der Studie war die Überprüfung der zeitlichen Entwicklung bei skelettal früh- bzw. spätreifen Probanden. Schließlich sollte noch untersucht werden, in welchem Stadium der HWS-Reife der mandibuläre Wachstumsspurt stattfindet.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Datenmaterial**

Die Grundlage des in dieser Studie verwendeten Datenmaterials bildeten zwei weiter zurückliegende externe Studien aus Groningen (Holland), nämlich:

1. die Groninger Grundschuluntersuchung  
und
2. die Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“

Im Rahmen zweier unterschiedlicher Longitudinalstudien, durchgeführt von der Abteilung für Kieferorthopädie der Universität in Groningen, wurden von ausgesuchten Probanden (Schülern) Fernröntgenseitenaufnahmen (FRS) der zervikalen, kranialen und fazialen Regionen und Röntgenbilder der Hand angefertigt. Hierbei wurde das Ziel verfolgt, über einen Zeitraum von mehreren Jahren, von jedem Probanden, im Abstand von jeweils zwölf Monaten, ein FRS bzw. eine Handaufnahme anzufertigen.

#### **2.1.1 Groninger Grundschuluntersuchung**

Im Rahmen der Groninger Grundschuluntersuchung wurden 181 geeignete Probanden ausgewählt, von denen im Studienverlauf insgesamt 1237 Röntgenbilder angefertigt worden waren. Die Studie war im Zeitraum zwischen Dezember 1950 und Januar 1976, unter Berücksichtigung aller Grundschulen in Groningen, durchgeführt worden. Hierdurch konnte eine gleichmäßige Verteilung im Hinblick auf soziale Strukturen erreicht werden.

Die Selektion der Probanden erfolgte nach kieferorthopädischen Gesichtspunkten. Um eine homogenere Verteilung hinsichtlich der häufiger vorkommenden Klasse II-Anomalien, im Vergleich zu den selteneren Klasse III-Anomalien, zu erreichen, wurde eine Nivellierung

durchgeführt. Hierbei wurden zum Einen Klasse III-Anomalien bevorzugt in die Studiengruppe aufgenommen, zum Anderen wurden gleichzeitig einige der gehäuft auftretenden Klasse II-Anomalien aus dem Datenpool entfernt. Von der Studie ausgeschlossen wurden darüberhinaus alle kieferorthopädisch behandelten Probanden sowie alle Fälle mit unbrauchbaren Röntgen-Aufnahmeserien.

### **2.1.2 Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“**

Im Februar 1965, also etwa 15 Jahre nach dem Beginn der Groninger Grundschuluntersuchung, folgte mit dem Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“ die zweite Erhebung der Universität Groningen. Diese Studie umfasste einen Zeitraum von 25 Jahren und wurde im Mai 1980 abgeschlossen. Die Untersuchung war an den selben Schulen wie in der vorausgegangenen Studie durchgeführt worden. Dabei wurden 51 Probanden mit einer Klasse I-Verzahnung ausgewählt und insgesamt 293 Röntgenbilder angefertigt (mindestens eine und maximal acht FRS).

Als Kriterien für die Auswahl galten im Einzelnen folgende Bedingungen:

- Keine kieferorthopädische Behandlung während der Studie
- Neutralbisslage und Klasse I-Profil
- Neutralokklusion
- Ausreichende apikale Basis und damit kein Stützzonenverlust oder keine durch Karies bedingte Einengung
- Kein Front-Engstand

### **2.1.3 Beurteilung der Fernröntgenseitenbilder (FRS)**

Die Beurteilung der Halswirbel erfolgte anhand von digitalisierten Fernröntgenseitenbilder (FRS). Die originalen Röntgenbilder waren zuvor mit einem Scanner (Quatographic xfinity pro 48) bei einer Auflösung von 600 dpi eingescannt und auf dem Computer abgespeichert worden. Die Darstellung der Halswirbel am PC und deren visuelle Auswertung erfolgte mit dem medizinischen Bildverarbeitungsprogramm ImageJ. Um die Wiedergabe der FRS zu verbessern, wurden teilweise Kontrast und/oder Helligkeit verändert.

Folgende Kriterien mussten bei der Beurteilung der FRS erfüllt sein:

1. Alter der Probanden zwischen 9 und 18 Jahre.
2. Röntgenaufnahmen mit ausreichend hoher Klarheit und gutem Kontrast, um die Wirbelkörpergrenzen gut beurteilen zu können.
3. Wirbelkörper bis einschließlich C4 vollständig sichtbar.

## **2.2 Datenerfassung (Ausgangsmaterial)**

Die Erfassung der für die Studie notwendigen Grunddaten (Mess-Strecken) aus den beiden o.g. Untersuchungen wurde von Prof. Dibbets, auf der Basis einer Durchzeichnung aller Röntgenbilder, durchgeführt. Als Grundlage für die Datenerfassung am PC dienten die 47 kephalometrischen Markierungspunkte, wie sie von Prof. Dibbets definiert worden waren.

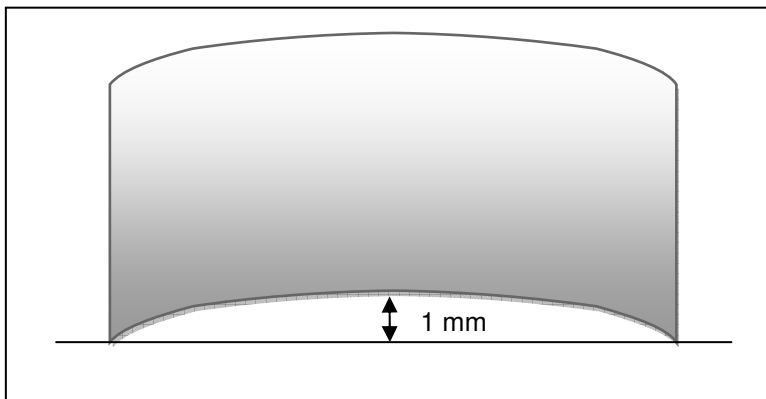
Der gesamte Datensatz umfasst 1538 Röntgenbilder, wobei Fehlstellen vorhanden sind, die dadurch bedingt sind, dass zum Teil auf den Röntgenbildern keine eindeutig lokalisierbaren Markierungspunkte vorhanden waren. Nur eindeutig lokalisierbare Punkte konnten mittels des Digitalisiertabletts datentechnisch erfasst werden. Fehlende Daten ergaben sich auch aufgrund unregelmäßiger Teilnahme der Probanden an den Messreihen oder wegen unbrauchbarer Röntgenaufnahmen.

## 2.3 Methode

Die Bestimmung der skelettalen Reife der Halswirbel erfolgte anhand der digitalisierten FRS nach der Methode von Lamparski (1972) sowie nach der Methode von San Roman (2002). Für die Beurteilung der Reifeindikatoren wurden die zweiten, dritten, vierten und, aufnahmebedingt, die fünften Wirbel miteinbezogen. Im Folgenden sind die beiden Methoden ausführlich dargestellt.

### 2.3.1 Methode nach San Roman

Gemäß der Methode von San Roman wurden die Halswirbel nach dem Ausmaß der Konkavität, der Form und der Höhe bewertet, wobei jede dieser drei Kategorien wiederum in verschiedene Stadien eingeteilt ist. So ist die Kategorie „Konkavität“ in sechs verschiedene Stadien eingeteilt. Jedes dieser Stadien entspricht dabei einem gewissen Reifegrad, der sich danach richtet, wie stark die Konkavität an der Unterseite der einzelnen Halswirbel ausgeprägt ist (Tab. 1). Eine Konkavität liegt vor, wenn die Distanz der Verbindungslinie der beiden unteren Eckpunkte zur maximalen Wölbung (in der Mitte) mindestens einen Millimeter beträgt (Abb. 1). Das Vorliegen einer Konkavität wurde rein visuell bestimmt.



**Abb. 1:** Definition der Konkavität (Abstand mind. 1mm).

**Tab. 1:** Konkavität: Stadien-Einteilung der Halswirbelkörper nach San Roman.

Stadium	Deskription
1	Halswirbel weisen eine flache Unterseite auf (keine Konkavität zu erkennen)
2	Erste Anzeichen einer Konkavität sind am Wirbelkörper C2 zu sehen
3	Ausbildung einer Konkavität auch am Wirbelkörper C3 vorhanden
4	Zunahme der Konkavität an Wirbelkörper C2 und C3; auch C4 und C5 weisen erste Anzeichen einer Konkavität auf
5	An allen Wirbelkörpern ist eine deutliche Zunahme der Konkavität zu beobachten
6	Halswirbel weisen jetzt alle eine tiefe Konkavität auf; Ecken sind abgerundet

In Bezug auf die Kategorie „Form“ wurde bewertet, inwieweit sich die Form der Halswirbel im Laufe der Zeit verändert. Es wurden bei dieser Methode nur die Halswirbelkörper C3 und C4 berücksichtigt. Wiederum wurden die Reifegrade in sechs Stadien eingeteilt (Tab. 2).

**Tab. 2:** Form: Stadien-Einteilung der Halswirbelkörper nach San Roman.

Stadium	Deskription
1	Halswirbel weisen deutliche keilförmige Form auf; sie verjüngen sich von posterior nach anterior
2	Wirbelkörper C3 weist noch immer keilförmige Form auf; C4-Körper ist weitgehend rechteckig
3	Alle Halswirbel weisen eine rechteckige Form auf
4	Halswirbel weisen eine annähernd quadratischen Form auf
5	Halswirbel haben Stadium erreicht, in dem sie alle eine quadratische Form aufweisen
6	Halswirbel weisen eine rechteckige Form auf, wobei die Höhe größer als die Breite ist

In Bezug auf die Kategorie „Höhe“ wurden die Wirbelkörper C3 und C4 nach dem Verhältnis Höhe zu Breite beurteilt. Es wurde eine Einteilung in vier Stadien vorgenommen (Tab. 3).

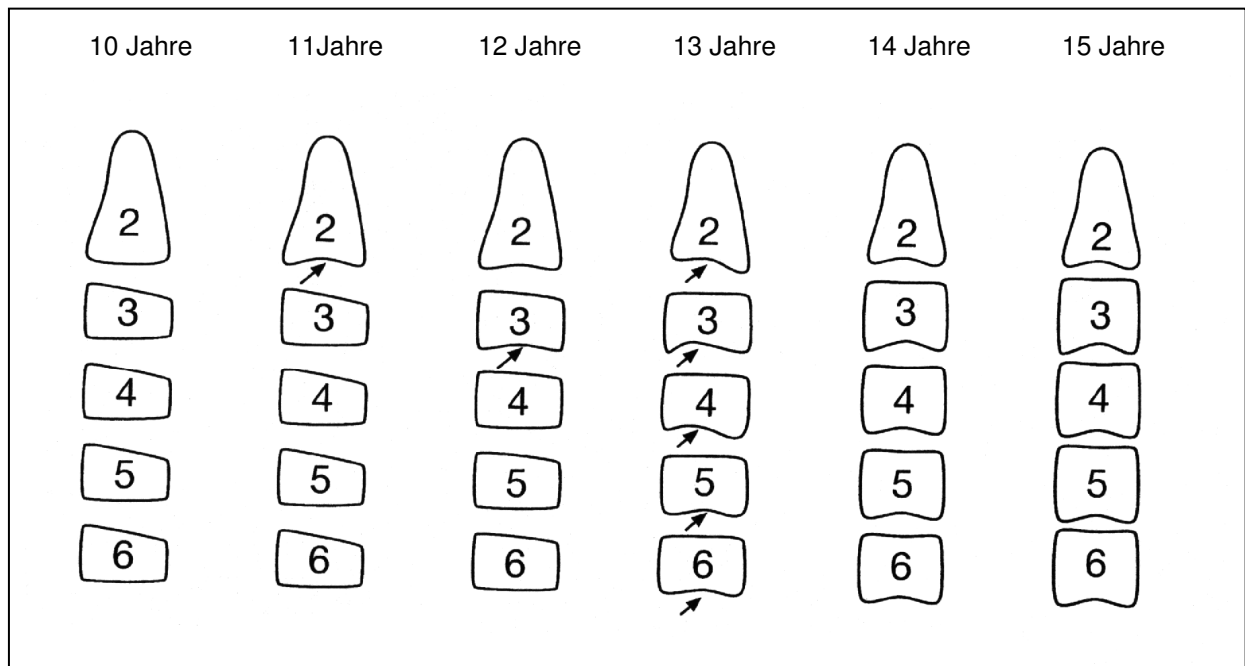
**Tab. 3:** Höhe: Stadien-Einteilung der Halswirbelkörper nach San Roman.

Stadium	Deskription
1	Höhe der Halswirbel kleiner als 80% der Breite
2	Höhe beträgt zwischen 80 und <100% der Breite
3	Höhe und Breite weisen gleiche Ausmaße auf (quadratisch)
4	Höhe ist größer Breite

### 2.3.2 Methode nach Lamparski

Gemäß der Methode nach Lamparski werden die Halswirbelkörper nicht einzeln, entsprechend ihrer Konkavität, Form und Breite, sondern als Gesamtheit beurteilt. Dabei wird das Muster der Halswirbel jedoch nach Geschlechtern unterschieden, da die Wachstumsentwicklung der Mädchen jener der Jungen vorseilt. So ist ein Mädchen mit 13 Jahren etwa auf dem gleichen skelettalen Entwicklungsstand wie ein Junge mit 15 Jahren. Die Reifestadien der Halswirbelkörper werden entsprechend dem Alter in sechs Kategorien zwischen 10 und 15 Jahren eingeteilt. In den folgenden beiden Abbildungen bzw. den beiden Tabellen ist zunächst die Entwicklung der Mädchen und anschließend die der Jungen dargestellt (Abb. 2 und Tab. 4 sowie Abb. 3 und Tab. 5).

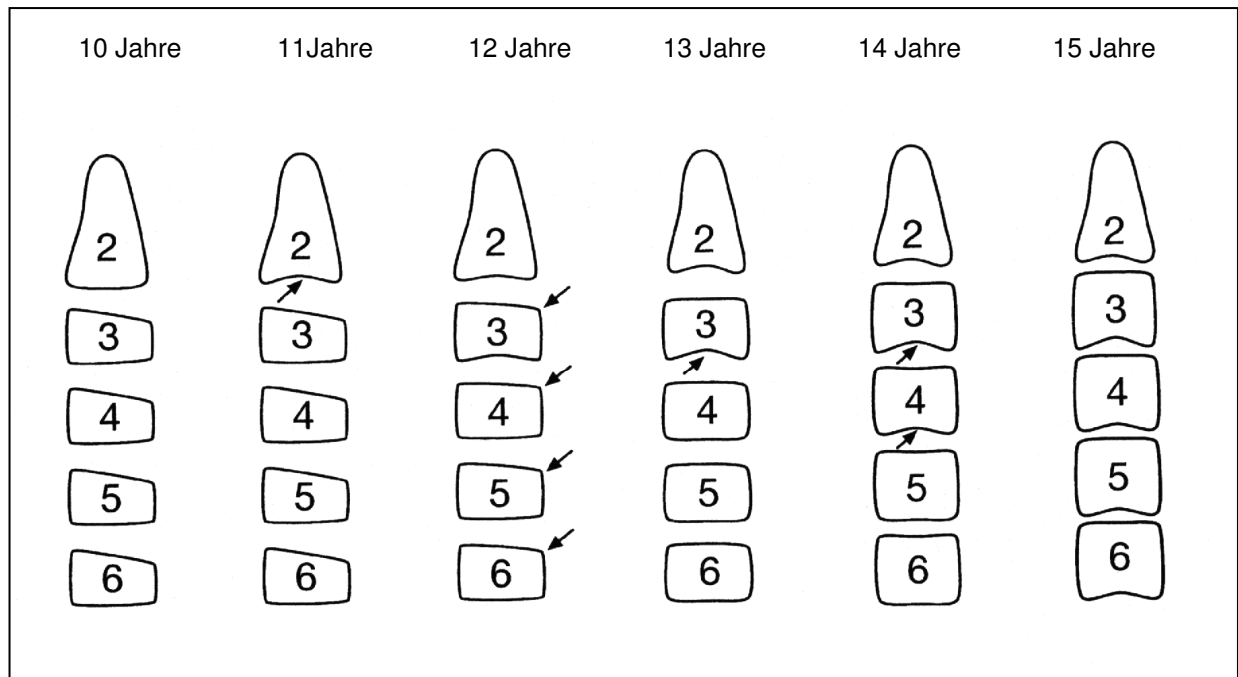




**Abb. 2:** Etappen der skelettalen Entwicklung bei Mädchen (nach Lamparski).

**Tab. 4:** Deskriptive Darstellung der skelettalen Entwicklung bei Mädchen (nach Lamparski).

Alter	Deskription
10 Jahre	Alle Halswirbel weisen flache Unterseite und keilförmige Form auf; sie verjüngen sich von posterior nach anterior
11 Jahre	Bildung einer Konkavität an Wirbelkörper C2; Zunahme der anterioren vertikalen Höhe
12 Jahre	Erste Anzeichen einer Konkavität an Wirbelkörper C3; restliche Halswirbel weisen keine Konkavität auf
13 Jahre	Zunahme der Konkavität an Wirbelkörper C3; C4 weist eindeutige Konkavität auf; C5 und C6 beginnen Konkavitäten zu entwickeln; alle Halswirbel besitzen rechteckige Form
14 Jahre	Abstand zwischen Halswirbeln verringert sich; Konkavität an allen 6 Halswirbeln ausgebildet; alle Wirbelkörper weisen quadratische Form auf
15 Jahre	Alle Halswirbel sind in Höhe größer als in Breite; Konkavitäten haben sich vertieft



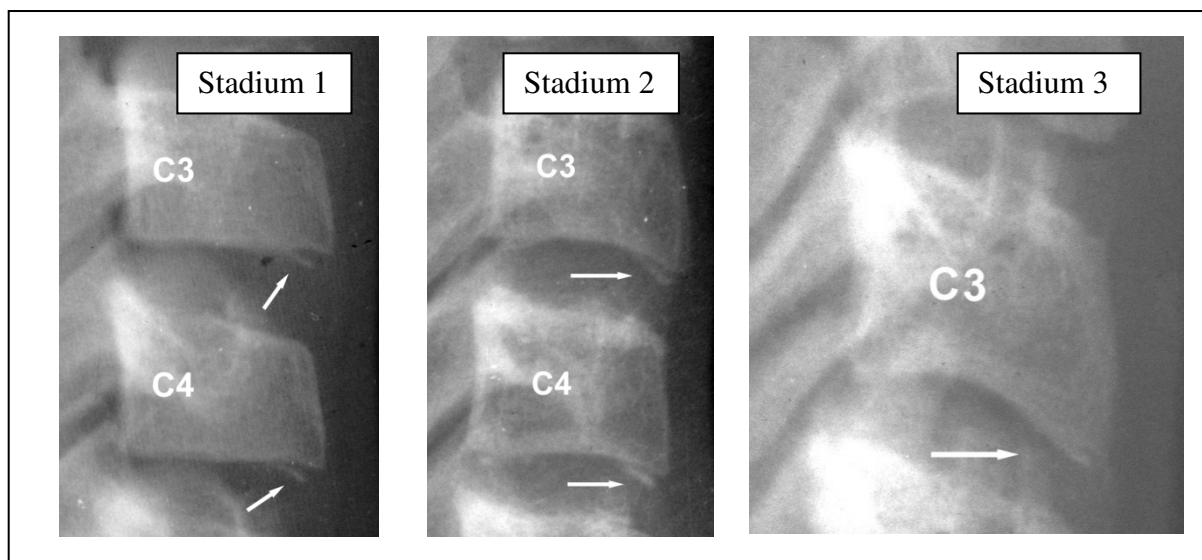
**Abb. 3:** Etappen der skelettalen Entwicklung bei Jungen (nach Lamparski).

**Tab. 5:** Deskriptive Darstellung der skelettalen Entwicklung bei Jungen (nach Lamparski).

Alter	Deskription
10 Jahre	Alle Halswirbel weisen flache Unterseite und keilförmige Form auf; sie verjüngen sich von posterior nach anterior
11 Jahre	Bildung einer Konkavität an Wirbelkörper C2
12 Jahre	Konkavität von Wirbelkörper C2 hat sich vertieft; Zunahme der anterioren vertikalen Höhe der Halswirbel
13 Jahre	Erste Anzeichen einer Konkavität an Wirbelkörper C3; anteriore vertikale Höhe nimmt immer mehr zu
14 Jahre	Konkavität an Wirbelkörper C3 vollständig ausgebildet; Konkavität an C4 beginnt sich zu entwickeln; alle Halswirbel weisen rechteckig Form auf
15 Jahre	Abstand zwischen Halswirbeln verringert sich; Konkavität an C4 hat sich vertieft; Konkavitäten an C5 und C6 beginnen sich zu entwickeln; Halswirbel haben eine quadratische Form angenommen

### 2.3.3 Ossifikationspunkt

Bei der Beurteilung der Halswirbel wurde, zusätzlich zu den bereits etablierten Methoden von Lampaski (2002) und San Roman (2002), die Analyse eines so genannten „Ossifikationspunktes“ berücksichtigt. Es handelt sich bei diesem Ossifikationspunkt um eine knöcherne längliche Struktur, der sich ab einem gewissen Alter an der Unterseite der C3- und C4-Körper ausbildet. Da zu dieser Methode kaum Literatur vorhanden ist, soll überprüft werden, inwiefern dieser Ossifikationspunkt einen festen Bezug zur skelettalen Entwicklung hat. Es gilt festzustellen, ob sich das erste Auftreten bzw. die Veränderungen dieses Ossifikationspunktes einem bestimmten Alter des Probanden zuordnen lässt. Bei dieser Methode wird zwischen drei Stadien unterschieden (Abb. 4 und Tab. 6).



**Abb. 4:** Stadien des sog. Ossifikationspunktes.

**Tab. 6:** Deskriptive Darstellung der Stadien des Ossifikationspunktes.

Stadium	Deskription
0	Keine Anzeichen eines Ossifikationspunktes erkennbar
1	Erste Anzeichen des Ossifikationspunktes in Form eines dünnen Balkens
2	Längenzunahme des Ossifikationspunktes in der Transversalen und vertikalen; Abstand zwischen Ossifikationspunkt und Halswirbel verringert sich
3	Ossifikationspunkt ist mit Unterseite des Halswirbels fast vollständig verwachsen

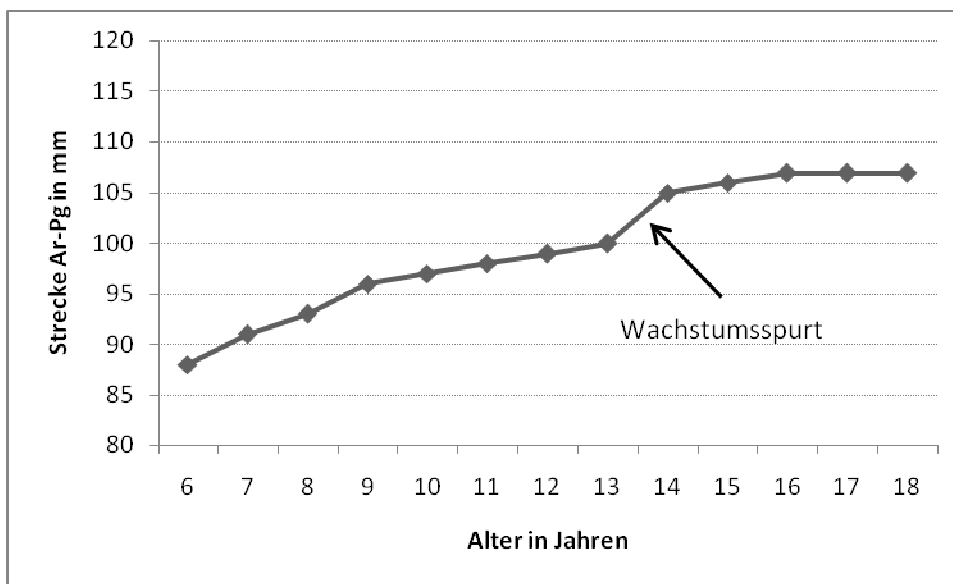
#### 2.3.4 HWS-Methoden in Bezug zum Wachstumsspurt am Handskelett

Es sollte versucht werden, einen Zusammenhang zwischen dem Wachstumsspurt beim Handskelett und den Phasen gemäß Lamparski und San Roman sowie dem Ossifikationspunkt aufzuzeigen. Die Handröntgen-Bilder stammten hierbei ebenfalls aus der „Groninger Grundschuluntersuchung“ und der „Groninger Reihe (Klasse I-Fälle)“. Das skelettale Alter (am Handskelett) in diesen Studien war mittels der Atlasmethode nach Greulich und Pyle (1959) bestimmt worden. Für die vorliegende Studie wurde auf die Auswertungen einer früheren Studie zurückgegriffen. Der Wachstumsspurt wurde mit dem Auftreten des Sesambeins festgelegt (nach Björk und Helm 1967). Dieser tritt bei männlichen Probanden mit 13 Jahren und bei weiblichen Probanden mit 11 Jahren auf. Folglich wurden für diese Auswertung nur männlichen Probanden, die sich nach dem skelettalen Alter zwischen 12,75 und 13 Jahren bzw. weibliche Probanden im Alter von 11 Jahren befanden, berücksichtigt. Nach dieser Selektion verblieben für die Auswertung 16 männliche und 40 weibliche Probanden.

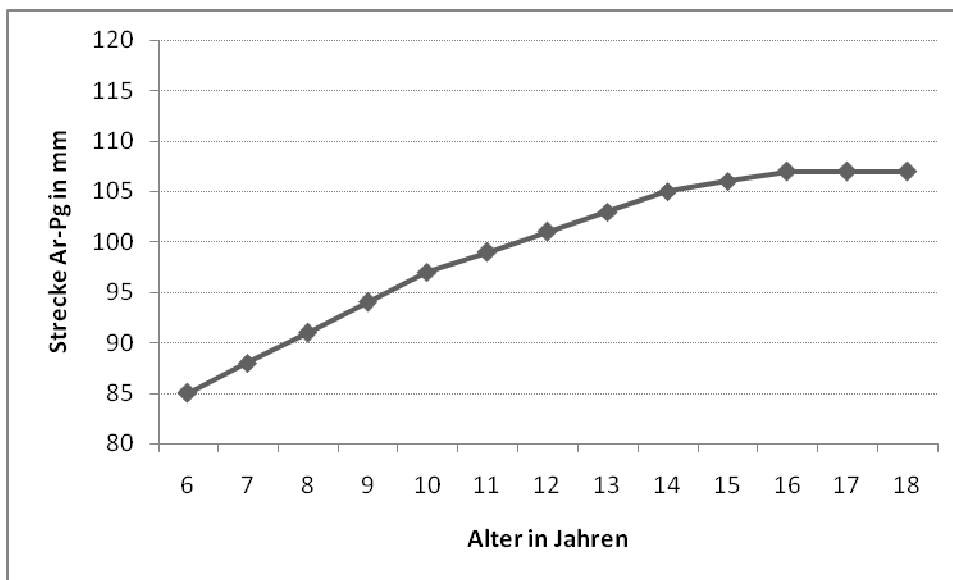
### 2.3.5 Zeitpunkt des maximalen Wachstumsschubes der Mandibula

Es sollte untersucht werden, ob sich anhand der Strecke Artikulare-Pogonion (Ar-Pg), dessen Länge sich im Laufe des Alters verändert, ein Wachstumsspurt festzustellen ist und ob es ggf. einen Zusammenhang zwischen den Phasen nach Lamparski und dem Zeitpunkt des maximalen Wachstums der Mandibula gibt. Unter dem Wachstumsspurt ist jener Zeitablauf zu verstehen, welcher durch eine besonders große Zunahme des allgemeinen Längenwachstums gekennzeichnet ist und in der Zeit der Pubertät auftritt. Er dauert - geschlechtsunabhängig - zirka zwei Jahre (Kallmeyer 2001). Wiederum stammte auch hier das Datenmaterial aus der „Groninger Grundschuluntersuchung“ und der „Groninger Reihe (Klasse I-Fälle)“.

Um den Verlauf des Wachstums beurteilen zu können bzw. um einen Wachstumsspurt überhaupt zu erkennen, ist eine Mindestanzahl an Röntgenbildern erforderlich. Zum Zwecke dieser Analyse war folglich zunächst eine Auswahl der Probanden durchzuführen, wobei nur jene Fälle berücksichtigt wurden, bei welchen mindestens sechs Aufnahmen verfügbar waren. In einem zweiten Schritt wurde dann anhand von Diagrammen visuell geprüft, ob ein Mandibula-Wachstumsschub erkennbar war. Dies wurde mit Hilfe von Diagrammen durchgeführt, bei welchen auf der y-Achse die Strecke Ar-Pg und auf der x-Achse das Alter aufgetragen wurde. Als Wachstumsschub wurde jede deutliche Abweichung des Streckenverlaufes nach oben hin bewertet. Um dieses Prozedere besser zu veranschaulichen, sind im Folgenden zwei Grafiken mit den entsprechenden Kurvenverläufen dargestellt. Es handelt sich um zwei idealisierte Fälle mit lückenlosen Messungen im Jahresabstand. Anhand der ersten Grafik ist der Wachstumsspurt zwischen dem 13. und 14. Lebensjahr gut zu erkennen; hier zeigt sich im Vergleich zum übrigen Kurvenverlauf ein deutlicher Anstieg (Abb. 5). Bei der zweiten Grafik ist der Kurvenverlauf relativ gleichförmig; ein Wachstumsspurt ist nicht zu erkennen (Abb. 6).



**Abb. 5:** Beispielhafte Darstellung des Mandibula-Wachstums mit Nachweis eines Wachstumsspurts.



**Abb. 6:** Beispielhafte Darstellung des Mandibula-Wachstums ohne erkennbaren Wachstumsspurt.

Für diese Analyse konnten nur jene Fälle berücksichtigt werden, bei welchen ein Mandibula-Wachstumsspurt auch sicher anhand derartiger Grafiken nachzuweisen war. Lückenlose Röntgenbilder Messungen der Mandibulalänge, wie in den beiden exemplarisch dargestellten Abbildungen, lagen jedoch oft nicht vor. Zum Teil fielen die Aufnahmeserien in einen Altersbereich, in dem ein Wachstumsspurt nicht erwartet werden konnte; es lagen also oftmals gerade dann Lücken vor, wo mit dem Mandibula-Wachstumsspurt zu rechnen war. Würden etwa im Fall des ersten Beispiels (Abb. 5) zum Zeitpunkt des 13. und 14. Lebensjahres keine Röntgenaufnahmen vorgelegen haben, so wäre in diesem Fall ein Wachstumsspurt nicht erkennbar. Aus diesen Gründen mussten die Daten vieler Probanden, welche die Vorgabe von mindestens sechs Röntgenbilder erfüllten, verworfen werden, so dass am Schluss zur Beurteilung lediglich 12 Probanden verblieben waren.

### **2.3.6 Verlauf der skelettalen Entwicklung bei früh- oder spätreifen Probanden**

Um zu prüfen, wie viele Probanden sich in Bezug auf das skelettale Alter eher in einer beschleunigten oder verzögerten Entwicklung befanden, wurde eine fixe Einteilung des chronologischen Alters in Altersgruppen mit jährlichem Intervall vorgenommen (Zuordnung chronologisches Alter: 9,5 - 10,5 Jahre = Altersgruppe 10 Jahre etc.). Diesen Altersgruppen wurde das jeweils korrespondierende skelettale Alter bzw. der jeweils korrespondierende Reifegrad gemäß der Methode nach Lamparski gegenübergestellt (Tab. 7).

**Tab. 7:** Chronologisches Alter in Bezug zur Phase nach Lamparski.

Altersgruppe (Jahre)*	Phase nach Lamparski						Gesamt
	1	2	3	4	5	6	
9	27	1	1	0	0	0	29
10	81	42	6	0	0	0	129
11	38	63	15	4	0	0	120
12	18	46	45	16	2	0	127
13	8	13	40	45	12	2	120
14	3	5	17	13	53	12	133
15	1	1	5	18	41	46	112
16	0	0	2	4	24	64	94
17	0	0	1	1	6	68	76
18	0	0	1	0	3	47	51
Gesamt	176	171	133	131	141	239	991

\*Altersgruppe 9 = Alter zwischen 8,5 und 9,5 Jahren etc. / Typische Lamparski-Phase markiert.

Für diese Auswertung wurden die Altersgruppen 12 bis 15 Jahre berücksichtigt. Wie sich aus Tab. 7 ergibt, befanden sich für die Altersgruppe der 12-jährigen (chronologisches Alter 11,5-12,5 Jahre) 45 Probanden in der zu erwartenden Lamparski-Phase 3; diese Probanden wurden hinsichtlich der skelettalen Entwicklung als normal eingestuft. Ebenso wurde mit den 46 Probanden verfahren, die sich in der Lamparski-Phase 2 befanden, da bei Probanden im Alter zwischen 11,5 und 12,5 Jahren, die sich in dieser Phase befinden, noch nicht eindeutig von einer abweichenden bzw. verlangsamten Entwicklung gesprochen werden kann. Alle 91 Probanden der Altersgruppe von 12 Jahren, die mit der Lamparski-Phase 2 oder 3 korrespondierten, wurden demgemäß hinsichtlich der skelettalen Entwicklung als normal eingestuft. Bei den Probanden in der Phase 1 (n=18) konnte mit hinreichender Sicherheit von einer verlangsamten Entwicklung ausgegangen werden; die 18 Probanden, welche sich in den Phasen 4 und 5 befanden wurden als Probanden mit beschleunigter Entwicklung betrachtet.

Für die Altersklasse 13 (chronologisches 12,5-13,5 Jahre) wurde analog vorgegangen. Die 45 Probanden, die sich in der Lamparski-Phase 4 befanden sowie die 40 Probanden mit korrespondierender Phase 3 wurden hinsichtlich der skelettalen Entwicklung als normal



eingestuft. Die 21 Probanden der Phasen 1 und 2 wurden als verlangsamt entwickelt betrachtet, die 14 Probanden der Phasen 5 und 6 als beschleunigt entwickelt.

Bei den Altersgruppen 14 und 15 wurden nur die Probanden berücksichtigt, die potentielle Spätentwickler waren, bei denen also eine verzögerte Entwicklung anzunehmen war. Dabei wurde für die Altersgruppe der 14-jährigen eine normale Entwicklung angenommen, wenn entweder die Lamparski-Phase 4 oder 5 vorlag. Die übrigen 25 Probanden, welche Phasen zwischen 1 und 3 aufwiesen, wurden als Probanden mit verzögerter skelettaler Entwicklung betrachtet. Bei den 15-jährigen wurde eine normale Entwicklung angenommen, wenn die Lamparski-Phase 5 oder 6 vorlag. Die übrigen 25 Probanden, welche Phasen zwischen 1 und 4 aufwiesen, wurden als Probanden mit verzögerte skelettaler Entwicklung betrachtet.

Im nächsten Schritt wurde dann geprüft, wie sich die skelettale Reife in den Folgejahren entwickelt; ob also bei den Spätentwicklern die skelettale Entwicklung verzögert bleibt oder ob sie sich normalisiert. Analog wurde bei den Frühentwicklern verfahren; es wurde geprüft, ob sich die skelettale Entwicklung verlangsamt bzw. sich normalisiert oder ob sie weiterhin beschleunigt bleibt.

## 2.4 Statistik

Alle Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS für Windows Version 13 (SPSS GmbH, München) durchgeführt.

Bei den Auswertungen handelte es sich im wesentlichen um eine rein deskriptive Statistik, die in Form von Kreuztabellen und Balkendiagrammen dargestellt wurde. Wo absolute Zahlen angegeben wurden, findet sich auch stets eine Angabe in Prozent.

Zur Überprüfung des Zusammenhanges zwischen dem Knochenalter nach der Handröntgenmethode und den HWS-Methoden nach Lamparski, San Roman sowie dem Ossifikationspunkt kam als statistisches Verfahren die multiple lineare Regression zum Einsatz. Nähere Einzelheiten zur Anwendung und zur Beurteilung dieses Verfahrens finden sich im Ergebnisteil an entsprechender Stelle.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Intrabeobachter-Fehler

Um die Zuverlässigkeit der Methode (Reliabilität) zu prüfen, wurden aus dem Datenmaterial nach dem Zufallsprinzip 30 Probanden ausgewählt, deren Fernröntgenseitenaufnahmen durch denselben Untersucher einige Monate später erneut ausgewertet wurden. In den weiter unten folgenden Kreuztabellen sind die Ergebnisse dieser Reliabilitätsprüfung dargestellt. Es wird deutlich, bei welcher der drei Methoden (Lamparski, San Roman und Ossifikationspunkt) die meisten Abweichungen vorkamen; innerhalb der einzelnen Methoden lässt sich außerdem erkennen, in welcher Phase bzw. in welchem Stadium die meisten Abweichungen zwischen erster und zweiter Beurteilung auftraten.

Bei der HWS-Methode nach Lamparski, bei der anhand der Halswirbelkörper 2 bis 6 die Entwicklung in sechs Phasen eingeteilt wird, konnte zwischen der ersten und zweiten Beurteilung eine große Übereinstimmung hinsichtlich der Phasen (Reifegrade) 1, 4, 5 und 6 festgestellt werden (Tab. 8). Hier wurde lediglich jeweils nur eine Abweichung beobachtet. So waren zum Beispiel bei der ersten Auswertung sechs Patienten der Phase 1 zugeordnet worden; bei der zweiten Durchsicht der Röntgenbilder wurden fünf dieser sechs Patienten ebenfalls der Phase 1 zugeordnet. Im Hinblick auf die Phase 2 hingegen wurden bei der ersten Auswertung sieben Patienten in diese Phase eingeteilt; von diesen sieben Patienten wurden bei der zweiten Durchsicht jedoch lediglich vier Patienten ebenfalls der Phase 2 zugeordnet. Ein ähnliches Bild ergab sich auch im Hinblick auf Phase 3. Unter den drei Patienten, die bei der ersten Auswertung dieser Phase zugeordnet worden waren, gab es bei der zweiten Durchsicht nur eine einzige Übereinstimmung. Insgesamt betrug die Abweichung innerhalb der einzelnen Phasen jedoch maximal eine Stufe.

**Tab. 8:** HWS-Methode nach Lamparski; Vergleich 1. mit 2. Auswertung.

	Phase (Altersklasse)	2. Auswertung						Gesamt
		1	2	3	4	5	6	
1. Auswertung	1	5 (83,3%)	1 (16,7%)	0	0	0	0	6
	2	1 (14,3%)	4 (57,1%)	2 (28,6%)	0	0	0	7
	3	0	1 (33,3%)	1 (33,3%)	1 (33,3%)	0	0	3
	4	0	0	0	3 (75,0%)	1 (25,0%)	0	4
	5	0	0	0	0	3 (75,5%)	1 (25,0%)	4
	6	0	0	0	0	1 (16,7%)	5 (83,3%)	6
	Gesamt	6	6	3	4	5	6	30

Übereinstimmungen **markiert**.

Bei der HWS-Methode nach San Roman werden die Wirbelkörper anhand von drei verschiedenen Merkmalen in Stadien eingeteilt (Konkavität, Höhe und Form). Im Hinblick auf das Merkmal "Konkavität" konnte zwischen der ersten und zweiten Auswertung eine relativ große Übereinstimmung beobachtet werden (Tab. 9). So gab es in Bezug auf die Stadien 1, 4 und 5 lediglich eine Abweichung, wobei zu berücksichtigen ist, dass es beim Stadium 4 nur zwei Beobachtungen gab, was hier einer Abweichung von 50 Prozent entspricht. Bei den Stadien 3 und 6 konnte sogar eine absolute Übereinstimmung festgestellt werden. Größere Abweichungen ergaben sich lediglich in Bezug auf das Stadium 2. Diesem Stadium wurden bei der ersten Auswertung elf Patienten zugeordnet; von diesen elf Patienten wurden bei der zweiten Durchsicht lediglich sieben Patienten ebenfalls dem Stadium 2 zugeteilt; jeweils zwei Patienten waren den unter- bzw. oberhalb liegenden Stadien zugeordnet worden. Wiederum betrug auch hier insgesamt die maximale Abweichung eine Stufe.

**Tab. 9:** HWS-Methode nach San Roman (Konkavität); Vergleich 1. mit 2. Auswertung.

	Stadien	2. Auswertung						Gesamt
		1	2	3	4	5	6	
1. Auswertung	1	4 (80,0%)	1 (20,0%)	0	0	0	0	5
	2	2 (18,2%)	7 (63,6%)	2 (18,2%)	0	0	0	11
	3	0	0	2 (100%)	0	0	0	2
	4	0	0	0	1 (50,0%)	1 (50,0%)	0	2
	5	0	0	0	1 (16,7%)	5 (83,3%)	0	6
	6	0	0	0	0	0	4 (100%)	4
	Gesamt	6	8	4	2	6	4	30

Übereinstimmungen **markiert**.

Bei der Beurteilung der Wirbelkörperhöhe (Tab. 10) ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der ersten und zweiten Auswertung im Hinblick auf drei der vier Stadien (Stadium 1, 3 und 4). 13 der 14 Patienten, die bei der ersten Auswertung in das Stadium 1 eingeteilt worden waren, wurden auch bei der zweiten Durchsicht in dieses Stadium eingeteilt. In Bezug auf das Stadium 4 konnte sogar eine vollständige Übereinstimmung beobachtet werden. Bei Stadium 3 gab es eine einzige Abweichung, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass lediglich zwei Patienten bei der ersten Auswertung diesem Stadium zugeteilt worden waren. Größere Abweichungen ergaben sich in Bezug auf das zweite Stadium. Von den neun Patienten, die bei der initialen Auswertung dem Stadium 2 zugeordnet worden waren, wurden bei der zweiten Durchsicht lediglich sechs Patienten ebenfalls in dieses Stadium eingeteilt. Auch hier betrug die maximale Abweichung jedoch wiederum nur eine Stufe.

**Tab. 10:** HWS-Methode nach San Roman (Wirbelkörper-Höhe);  
Vergleich 1.mit 2. Auswertung.

	Stadien	2. Auswertung				Gesamt
		1	2	3	4	
1. Auswertung	1	13 (92,9%)	1 (7,1%)	0	0	14
	2	1 (11,1%)	6 (66,7%)	2 (22,2%)	0	9
	3	0	1 (50,0%)	1 (50,0%)	0	2
	4	0	0	0	5 (100%)	5
	Gesamt	14	0	3	5	30

Übereinstimmungen **markiert**.

Eine weitgehende Übereinstimmung ergab sich in Bezug auf die Wirbelkörperform (Tab. 11). Die maximale Zahl der Abweichungen lag hier bei zwei von zehn Patienten (Stadium 2). Bei den übrigen Stadien gab es jeweils nur eine einzige Abweichung; in Bezug auf das Stadium 4 gab es sogar überhaupt keine Diskrepanzen zwischen der ersten und zweiten Auswertung. Allerdings wurde nur ein einzelner Patient diesem Stadium zugeteilt. Bei den fünf Patienten, die bei der zweiten Durchsicht anderweitig beurteilt worden waren, betrug die maximale Stadien-Abweichung wiederum maximal eine Stufe. Keiner der Patienten war dem Stadium 1 zugeteilt worden, weshalb dieses Stadium in der Tabelle 11 auch unberücksichtigt blieb.

**Tab. 11:** HWS-Methode nach San Roman (Wirbelkörper-Form); Vergleich 1.mit. 2 Auswertung.

	Stadien	2. Auswertung					Gesamt
		2	3	4	5	6	
1. Auswertung	2	7 (87,5%)	1 (12,5%)	0	0	0	8
	3	1 (10,0%)	8 (80,0%)	1 (10,0%)	0	0	10
	4	0	0	1 (100%)	0	0	1
	5	0	0	1 (16,7%)	5 (83,3%)	0	6
	6	0	0	0	1 (20,0%)	4 (80,0%)	5
	Gesamt	8	9	3	6	4	30

Übereinstimmungen markiert.

Bei der Einteilung des Ossifikationspunktes (Tab. 12) gab es zahlenmäßig die meisten Abweichungen zwischen den beiden Auswertungen beim Stadium 0. Allerdings wurden diesem Stadium auch deutlich mehr Patienten zugeordnet als den übrigen drei Stadien, nämlich insgesamt 16 Patienten. Von diesen 16 Patienten wurden bei der zweiten Auswertung 13 ebenfalls dem Stadium 0 zugeordnet; drei dieser Patienten waren dem Stadium 1 zugeteilt worden. In Bezug auf das Stadium 1 gab es bei vier der fünf Patienten eine Übereinstimmung zwischen erster und zweiter Durchsicht. Bei den Stadien 2 und 3 konnten Abweichungen zwischen den beiden Auswertungen nicht festgestellt werden.

**Tab. 12:** Ossifikationspunkt; Vergleich 1.mit. 2. Auswertung.

	Stadien	2. Auswertung				Gesamt
		0	1	2	3	
1. Auswertung	0	13 (81,3%)	3 (18,8%)	0	0	16
	1	0	4 (80,0%)	1 (20,0%)	0	5
	2	0	0	4 (100%)	0	4
	3	0	0	0	5 (100%)	5
	Gesamt	13	7	5	5	30

Übereinstimmungen markiert.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Intrabeobachter-Analyse aller fünf Beurteilungsmerkmale (Lamparski, San Roman und Ossifikationspunkt) noch einmal zusammengefasst dargestellt. Die maximale Abweichung im Hinblick auf alle fünf Merkmale betrug maximal eine Stufe. Die größte Reliabilität ergab sich in Bezug auf den Ossifikationspunkt. Hier konnte zwischen der ersten und der zweiten Auswertung lediglich bei 4 der 30 Patienten (13%) eine Diskrepanz festgestellt werden. Weniger zuverlässig erschien die Methode nach Lamparski, bei der sich eine Intrabeobachter-Fehlerquote von 30 Prozent ergeben hatte. Bei der Methode nach San Roman lag der Anteil der abweichenden Einstufungen zwischen 17 und 23 Prozent (Tab. 13).

**Tab. 13:** Intrabeobachter-Fehler bei HWS-Methode nach Lamparski (1), HWS-Methode nach San Roman (2) und Ossifikationspunkt.

	Anzahl (n)	Übereinstimmungen		Abweichung: 1 Stufe		Abweichung >1 Stufe	
		n	%	n	%	n	%
<u>HWS-Methode 1:</u> (Lamparski)	30	21	70	9	30	-	-
<u>HWS-Methode 2:</u> (San Roman)							
Konkavität	30	23	77	7	23	-	-
Höhe	30	25	83	5	17	-	-
Form	30	25	83	5	17	-	-
<u>Ossifikations-</u> <u>punkt</u>	30	26	87	4	13	-	-



## **3.2 Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Reifestadium**

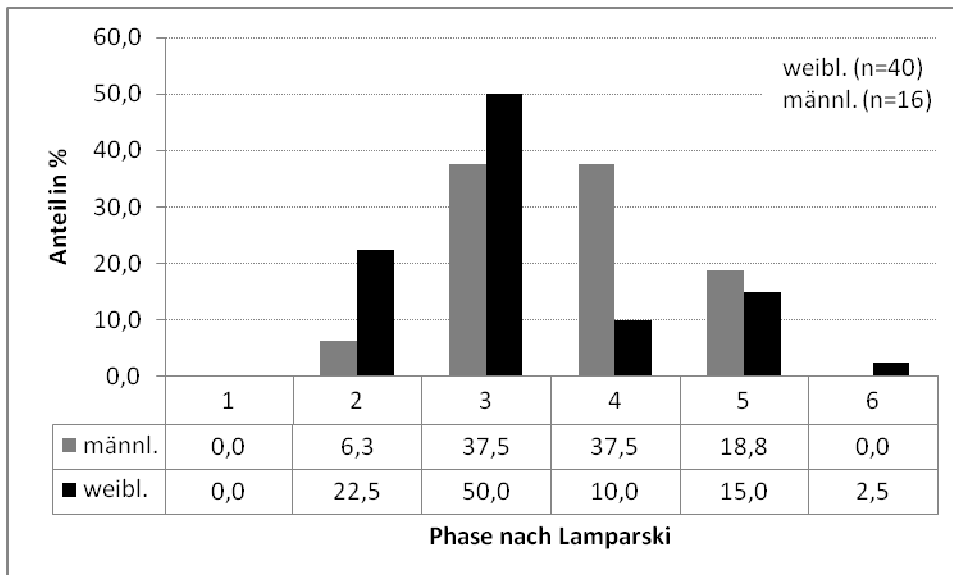
Im Folgenden werden die Zusammenhänge zwischen dem biologischen Alter (Handskelett-Methode) und der Altersbestimmung mittels der HWS-Methoden nach Lamparski, San Roman sowie dem Ossifikationspunkt dargestellt. Es sollte festgestellt werden, inwiefern der am Handskelett bestimmte Wachstumsspurt mit der HWS-Methode nach Lamparski und der HWS-Methode nach San Roman (Konkavität, Höhe und Form der Wirbelkörper) korreliert. Es galt also zu untersuchen, ob zum Beispiel der Wachstumsspurt bevorzugt mit einer bestimmten Phase nach Lamparski zusammentrifft. Das selbe sollte auch für den Ossifikationspunkt untersucht werden, der in die vier Stadien 0 - 3 unterteilt wurde. Der Wachstumsspurt selbst wurde mit dem Auftreten des Sesambeins am Handskelett definiert (nach Björk und Helm 1967). Bei Jungen tritt der Wachstumsspurt demgemäß im Alter von 13 Jahren, bei Mädchen im Alter von 11 Jahren auf. Zum Zwecke dieser Analyse wurden aus dem gesamten Datenmaterial folglich jene Fälle selektiert, welche sich nach dem sklettalen Alter in folgenden Altersgruppen befanden (alle Jungen im Alter zwischen 12,75 und 13 Jahren und alle Mädchen im Alter von 11 Jahren). Nach dieser Selektion verblieben die Daten von 16 männlichen und 40 weiblichen Probanden, um die statistische Assoziation zwischen dem Zeitpunkt des Wachstumsspurtes und dem Entwicklungsstadium der Halswirbel zu untersuchen.

### **3.2.1 HWS-Methode nach Lamparski**

Bei den 16 männlichen Probanden, die für diese Analyse zur Verfügung standen, korrelierte der Wachstumsspurt in jeweils sechs Fällen mit der Phase 3 bzw. der Phase 4 nach Lamparski (Abb. 7). Zusammengenommen fand der Wachstumsschub demnach bei 75 Prozent der männlichen Probanden in den Phasen 3 und 4 statt. Bei drei Probanden (18,8%) korrelierte der Wachstumsschub mit der Lamparski-Phase 5, bei einem Probanden (6,3%) mit der Phase 2.

Bei den 40 weiblichen Probanden dominierte, mit einem Anteil von 50 Prozent, deutlich die Lamparski-Phase 3 als Marker für den Wachstumsschub. Bei neun Probandinnen (22,5%) fiel der Wachstumsschub mit der Phase 2 nach Lamparski zusammen, bei vier (10%) mit der Phase 4, bei sechs mit der Phase 5 und bei einer Probandin mit der Phase 6. Bei keinem der männlichen Probanden trat der Wachstumsschub in der höchsten Phase (Phase 6) nach Lamparski auf.

Zusammengefasst konnte festgestellt werden, dass bei Jungen der Wachstumsschub bevorzugt mit den Phasen 3 und 4 korrelierte (75%); bei Mädchen war dies bevorzugt in Phase 3 der Fall (50%), gefolgt von Phase 2 mit einem Anteil von 22,5 Prozent.



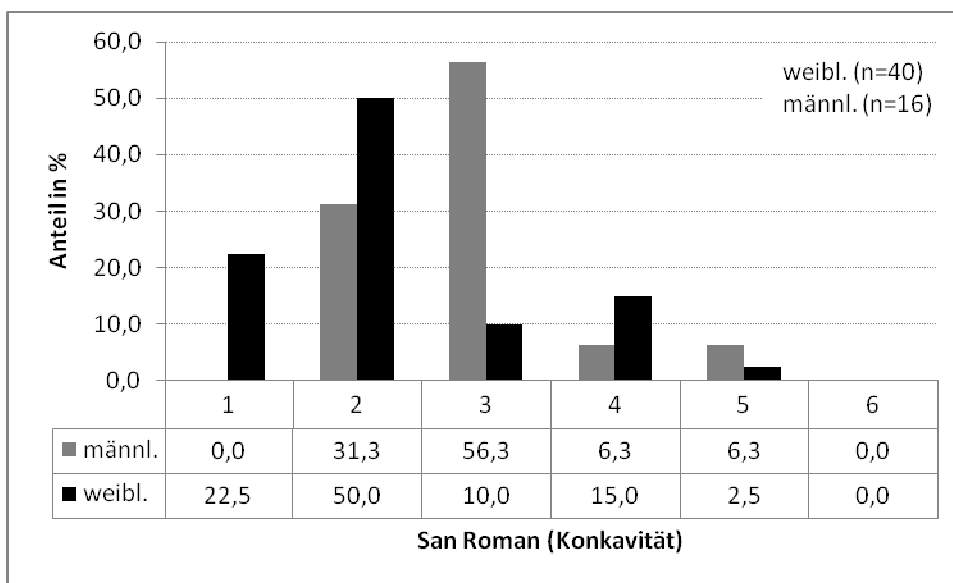
**Abb. 7:** Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Methode nach Lamparski.

### 3.2.2 HWS-Methode nach San Roman

Bei der HWS-Methode nach San Roman werden drei spezifische Eigenschaften der Wirbelkörper unabhängig voneinander beurteilt, nämlich die Konkavität, die Höhe und die Form der Wirbelkörper. Dabei wird die Konkavität in sechs Stadien eingeteilt, die Höhe in vier und die Form in fünf Stadien.

Hinsichtlich des Merkmals "Konkavität" (Abb. 8) wurde bei den männlichen Probanden deutlich, dass die größte Korrelation des Wachstumsschubes mit dem Stadium 3 bestand. Neun der insgesamt 16 männlichen Probanden (56,3%) wiesen während des Wachstumsschubes dieses Stadium der Konkavität auf. Bei fünf weiteren Probanden korrelierte der Wachstumsschub mit dem Konkavitäts-Stadium 2. Insgesamt wiesen also 87,6 Prozent der männlichen Probanden während des Wachstumsschubes entweder Stadium 2 oder 3 auf.

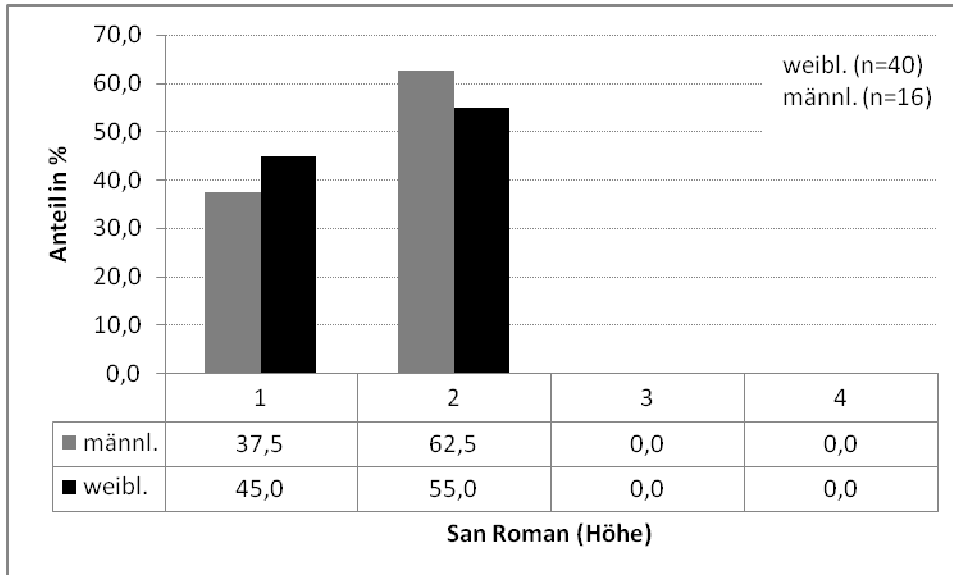
Bei den weiblichen Probanden wies genau die Hälfte während des Wachstumsschubes das Konkavitäts-Stadium 2 auf (n=20). Neun weitere Probandinnen befanden sich im ersten Stadium. Insgesamt fand sich demnach während des Wachstumsschubes bei 29 Probandinnen (72,5%) entweder Stadium 1 oder 2. Auffällig war, dass sich während des Wachstumsschubes immerhin schon vier Probandinnen (10,0%) im Konkavitäts-Stadium 3 und sechs (15,0%) sogar schon im Stadium 4 befanden.



**Abb. 8:** Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Methode nach San Roman (Merkmal: Konkavität der Wirbelkörper)

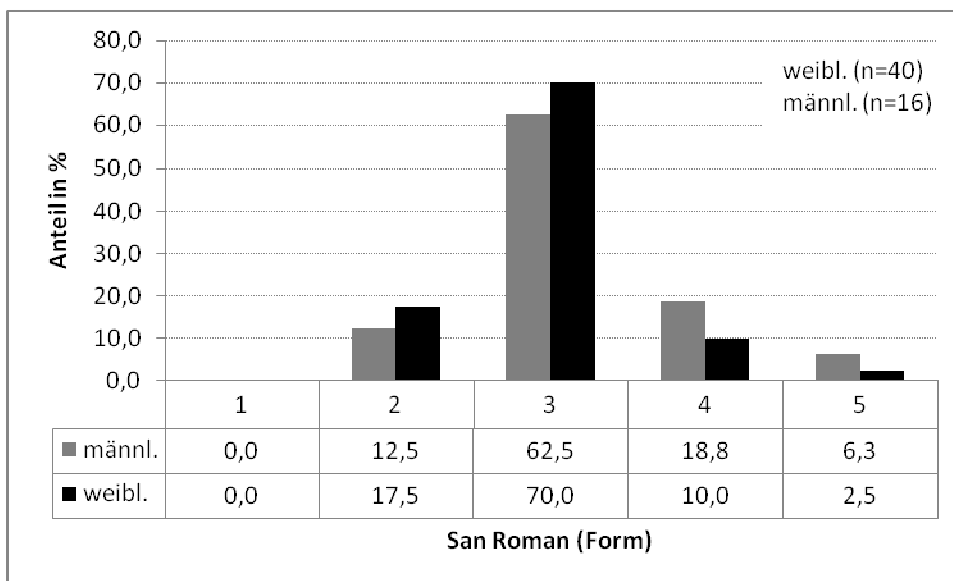
Im Hinblick auf das Merkmal "Höhe" der Wirbelkörper (Abb. 9) korrelierte der Wachstumsschub sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Probanden entweder mit Stadium 1 oder mit Stadium 2, wobei Letzteres mit 62,5 Prozent bei den männlichen und 55 Prozent bei den weiblichen Probanden etwas häufiger beobachtet wurde. Das Sta-

dium 3 und 4 des Merkmals "Höhe" wurde bei keinem der Probanden während des Wachstumsschubes registriert.



**Abb. 9:** Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Methode nach San Roman (Merkmal: Höhe der Wirbelkörper).

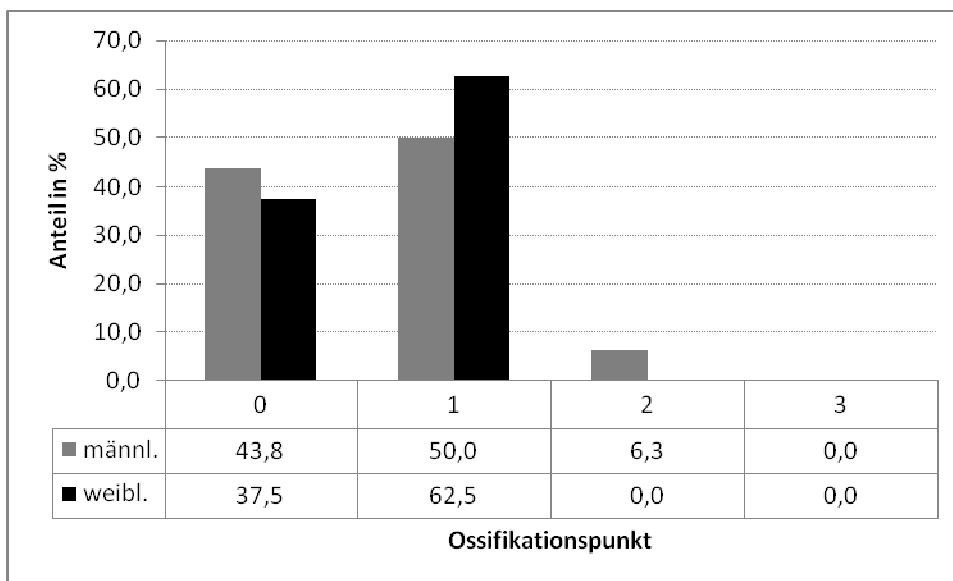
Die Form der Wirbelkörper (Abb. 10), die nach San Roman in sechs Stadien eingeteilt wird, wies bei beiden Geschlechtern eine gut erkennbare Abhängigkeit vom Wachstumsschub auf. 62,5 Prozent der männlichen und 70,0 Prozent der weiblichen Probanden wiesen während des Wachstumsschubes das Stadium 3 auf. Stadium 1 wurde bei keinem der Probanden festgestellt; Stadium 5 kam mit 6,3 Prozent (n=1) bzw. 2,5 Prozent (n=1) nur selten vor. Das Stadium 6 der Wirbelkörper-Form kam während des Wachstumsschubes bei keinem der Probanden vor.



**Abb. 10:** Zusammenhang zwischen Wachstumsspur und HWS-Methode nach San Roman (Merkmal: Form der Wirbelkörper).

### 3.2.3 Ossifikationspunkt

Beim Ossifikationspunkt (Abb. 11) zeigte sich ein ähnliches Bild wie beim Merkmal "Höhe" nach San Roman. Wiederum wiesen auch auf dieser 4-stufigen Skala (0-3) nahezu alle Probanden, unabhängig vom Geschlecht, den Wachstumsschub während der beiden ersten Stufen (0 und 1) auf. Wiederum war der Anteil der Probanden auf der zweiten Stufe (Stadium 1) etwas höher als auf der ersten Stufe (Stadium 0). Konkret befanden sich während des Wachstumsschubes 50 Prozent der männlichen bzw. 62,5 Prozent der weiblichen Probanden im Stadium 1 auf der Skala des Ossifikationspunktes. Alle anderen Probanden befanden sich, mit einer einzigen Ausnahme, im Stadium 0.



**Abb. 11:** Zusammenhang zwischen Wachstumsspurts und Ossifikationspunkt.

### 3.3 Zusammenhang zwischen skelettalem Alter und HWS-Methode

#### 3.3.1 Lineare Regression

Die lineare Regression ist ein Verfahren, mit welchem die Abhängigkeit eines bestimmten Parameters "y" von einer unabhängigen Variable "x" untersucht werden kann. Von einer multiplen linearen Regression spricht man dann, wenn mehrere solcher unabhängigen Variablen vorliegen und deren Auswirkungen auf den Parameter "y" untersucht werden sollen.

Im Folgenden wurde mittels der multiplen linearen Regression versucht, den statistischen Zusammenhang zwischen dem Parameter "Knochenalter" (nach Greulich und Pyle) und den Variablen der HWS-Methode nach San Roman (Konkavität, Höhe, Form) sowie dem Stadium des Ossifikationspunktes aufzuzeigen. Die multiple lineare Regression wird in diesem Fall mit folgender Gleichung beschrieben:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3 + b_4 * x_4$$

Dabei steht die Variable y für das skelettale Alter nach Greulich und Pyle; die Variablen x1, x2, x3 und x4 stehen für die Stadien der drei Merkmale nach San Roman, Wirbelkör-

per-Form, -Höhe und -Konkavität sowie für die Stadien des Ossifikationspunktes. Auf diese Weise konnten die Regressionskoeffizienten  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  und  $b_4$  sowie die Konstante  $b_0$  und der  $R^2$ -Wert berechnet werden. Die Konstante ( $b_0$ ) steht dabei im konkreten Fall für ein fixes Alter, welchem in Abhängigkeit der Regressionskoeffizienten und der ermittelten Stadien (San Roman bzw. Ossifikationspunkt) weitere Altersanteile hinzuaddiert werden, um schließlich eine Schätzung des Knochenalters zu erhalten. Der  $R^2$ -Wert ist ein Maß für die Güte der Schätzung, wobei ein Wert von 1 bedeutet, dass das skelettale Alter exakt vorausgesagt werden kann. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Unter Berücksichtigung aller vier Variablen (Form, Höhe, Konkavität und Ossifikationspunkt) ergab sich für die männlichen Probanden eine Konstante von 7,76 [vgl. erste Zeile Tabelle 14]. Die errechneten Regressionskoeffizienten betrugen 0,30 (Form), 0,52 (Höhe), 0,90 (Konkavität) und 0,25 (Ossifikationspunkt). Nimmt man nun den konkreten Fall eines männlichen Probanden mit folgenden Werten: Form=1; Höhe=1; Konkavität=2; Ossifikationspunkt=3, so ergibt sich folgende Berechnung:

$$\begin{aligned} y \text{ (Knochenalter)} &= 7,76 + 0,30 \cdot 1 + 0,52 \cdot 1 + 0,90 \cdot 2 + 0,25 \cdot 3 \\ &= 11,1 \text{ Jahre} \end{aligned}$$

Das tatsächliche Alter dieses Probanden betrug gemäß Greulich und Pyle 11 Jahre. Diese ausgeprägte Präzision spiegelt sich im relativ hohen  $R^2$ -Wert von 0,78 wider.

Bei dieser Methode ist die Möglichkeit gegeben, einzelne oder auch mehrere Variablen bei der Berechnung der Konstante bzw. der Regressionskoeffizienten auszuklammern. Anhand des  $R^2$ -Wertes, lässt sich leicht erkennen, wie sich dies auf die Genauigkeit der Altersschätzung auswirkt. In Tabelle 14 sind diese Berechnungen für verschiedene Kombinationen dargestellt. Erwartungsgemäß fand sich bei Berücksichtigung aller vier Variablen (Form, Höhe, Konkavität und Ossifikationspunkt) der höchste  $R^2$ -Wert (männlich=0,78; weiblich=0,84). Auffällig war, dass für alle berechneten Kombinationen die Genauigkeit bei den weiblichen Probanden höher war als bei den männlichen. Ferner fiel auf, dass sich die Genauigkeit durch die Nicht-Berücksichtigung einzelner oder mehrerer Variablen nur relativ geringfügig verminderte. So ergab sich zum Beispiel bei alleiniger Berücksichtigung nur der drei Variablen nach San Roman für die männlichen Probanden ein  $R^2$ -Wert

von 0,78 und bzw. für die weiblichen Probanden ein  $R^2$ -Wert von 0,82. Vereinfachte man die Methode weiter, indem man lediglich die Variable "Konkavität" berücksichtigte, verringerten sich die  $R^2$ -Werte nur unwesentlich, nämlich von 0,78 auf 0,76 bei den männlichen und von 0,82 auf 0,80 bei den weiblichen Probanden. Demnach lässt sich also bereits mit dem einfach zu bestimmenden Parameter "Konkavität" relativ präzise das Knochenalter berechnen. Um dies zu veranschaulichen soll noch einmal das obigen Beispiel des männlichen Probanden herangezogen werden, der eine Konkavität von 2 aufgewiesen hatte:

$$\begin{aligned} y \text{ (Knochenalter)} &= 8,15 + 1,50 \cdot 2 \\ &= 11,2 \text{ Jahre} \end{aligned}$$

Die Differenz zu obigen Beispiel, bei welchem sich unter Berücksichtigung aller vier Variablen ein Knochenalter von 11,1 Jahren ergeben hatte, ist also nur sehr gering.

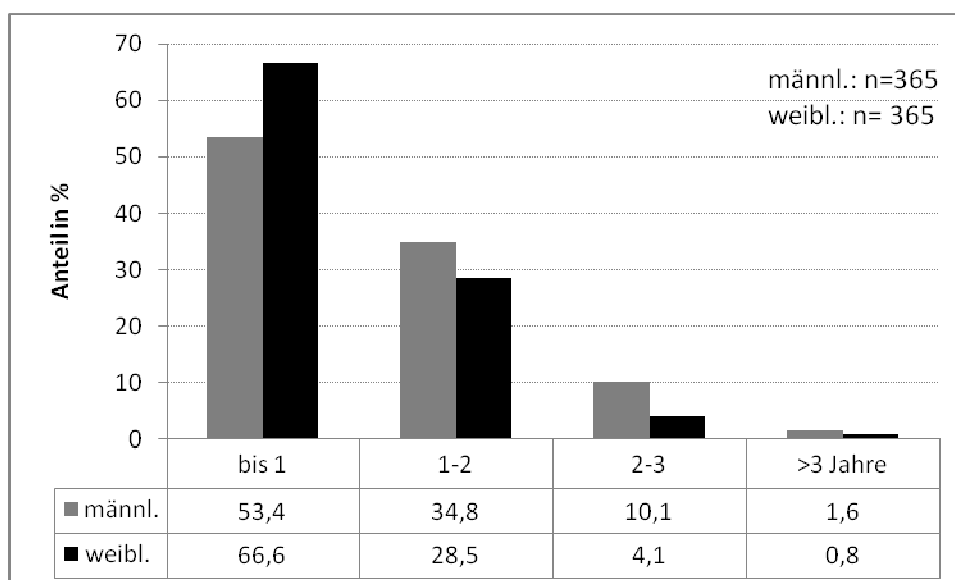
Die Regressionskoeffizienten sowie die zugehörigen Konstanten sowie die  $R^2$ -Werte sind für verschiedene Kombinationen der vier Variablen (San Roman und Ossifikationspunkt) in Tab. 14 dargestellt. Die Ergebnisse bei Berücksichtigung aller vier aufgeführten Variablen, bei Berücksichtigung nur der drei Variablen nach San Roman sowie der Variable "Konkavität" alleine sind in dieser Tabelle **markiert**.



**Tab. 14:** Zusammenhang zwischen skelettalem Alter (nach Greulich und Pyle) und HWS-Methode nach San Roman einschließlich Ossifikationspunkt. Ergebnisse der multiplen linearen Regression.

Geschlecht	Konstante	San Roman			Ossifikationspunkt	R <sup>2</sup> -Wert
		Form	Höhe	Konkavität		
m	7,76	0,30	0,52	0,90	0,25	0,78
w	7,78	0,22	0,13	0,78	0,73	0,84
m	7,78	0,49	-	0,96	0,37	0,78
w	7,75	0,30	-	0,78	0,75	0,84
m	8,11	-	0,65	1,04	0,29	0,78
w	8,04	-	0,22	0,88	0,77	0,84
m	7,51	0,94	0,66	-	0,66	0,74
w	7,34	0,97	0,12	-	0,98	0,81
m	7,56	0,33	0,58	0,96	-	0,78
w	7,14	0,41	0,22	0,94	-	0,82
m	7,46	0,57	-	1,07	-	0,77
w	7,05	0,55	-	0,95	-	0,82
m	7,91	-	0,74	1,13	-	0,78
w	7,57	-	0,42	1,15	-	0,82
m	8,46	-	-	1,26	0,52	0,77
w	8,17	-	-	0,97	0,84	0,84
m	6,85	1,16	0,95	-	-	0,73
w	6,30	1,45	0,26	-	-	0,76
m	7,52	1,26	-	-	0,88	0,73
w	7,31	1,05	-	-	0,99	0,81
m	8,96	-	1,49	-	1,15	0,70
w	8,89	-	0,85	-	1,50	0,76
m	6,54	1,74	-	-	-	0,70
w	6,18	1,63	-	-	-	0,76
m	8,27	-	2,35	-	-	0,65
w	8,30	-	1,90	-	-	0,63
m	8,15	-	-	1,50	-	0,76
w	7,74	-	-	1,37	-	0,80
m	10,60	-	-	-	2,41	0,60
w	9,97	-	-	-	2,21	0,71

Um die praktische Relevanz der Regressions-Analyse zu veranschaulichen, wurde unter Berücksichtigung der drei Variablen der San Roman-Methode (Form, Höhe und Konkavität der Wirbelkörper) eine exemplarische Berechnung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde für jeden einzelnen Probanden anhand der drei Variablen nach San Roman in Verbindung mit den statistisch ermittelten Regressionskoeffizienten (vgl. Zeile 1 und 2 -grau markiert- der Tab. 14) das skelettale Alter bestimmt. Dieses Alter wurde anschließend mit dem tatsächlichen Knochenalter nach Greulich und Pyle verglichen und die Differenz aus beiden Alterswerten berechnet. Im Idealfall wäre, einen maximalen  $R^2$ -Wert vorausgesetzt, die Differenz bei jedem Patienten Null; das skelletale Alter nach Greulich und Pyle sowie das errechnete Alter mittels der errechneten Regressionskoeffizienten wären identisch. Da jedoch die  $R^2$ -Werte mit 0,78 für die männlichen und 0,82 für die weiblichen Probanden vom Idealfall abwichen, war zwangsläufig auch mit Unterschieden zwischen den beiden Methoden der Altersbestimmung zu rechnen. Diese Abweichungen sind in Abb. 12 dargestellt.



**Abb. 12:** Abweichung des anhand der Regressionskoeffizienten bestimmten Alters vom Knochenalter nach Greulich und Pyle in Jahren.

Es wird deutlich, dass in den meisten Fällen die Abweichung des errechneten Alters vom Knochenalter nach Greulich und Pyle maximal ein Jahr betrug. Wie aufgrund des höheren  $R^2$ -Wertes bei den weiblichen Probanden erwartet werden konnte, war das Ergebnis etwas

besser als bei den männlichen Probanden. Während bei zwei Drittel der Probandinnen (66,6%) eine maximale Abweichung von einem Jahr vorlag, traf dies bei den männlichen Probanden lediglich bei gut der Hälfte zu (53,4%). Eine Abweichung von ein bis zwei Jahren fand sich bei etwa einem Viertel der weiblichen (28,5%) und etwa einem Drittel der männlichen Probanden (34,8%). Abweichungen von mehr als zwei Jahren wurden bei den männlichen Probanden bei immerhin noch bei knapp 12 Prozent der Fälle registriert, währenddessen dies bei den Probandinnen bei lediglich knapp fünf Prozent der Fall war.

### 3.4 Skelettale Entwicklung bei früh- und spätreifen Probanden

Um zu prüfen in welcher Form sich bei früh- bzw. spätreifen Probanden die Entwicklung im weiteren Verlauf verändert, wurden aus den Altersgruppen der 12 bis 15-jährigen Probanden all jene ausgewählt, deren Knochenalter deutlich vom chronologischen Alter abwich, und von welchen auch genügend Röntgenbilder zur Beurteilung des Verlaufes verfügbar waren. Auf diese Weise konnten 36 spätreife und 21 frühreife Probanden selektiert und beurteilt werden (siehe Kapitel 2.3.6). Wie aus Tabelle 15 ersichtlich ist, zeigte sich bei den Spätreifen im auch weiteren Verlauf eine deutliche Tendenz zur Entwicklungsverzögerung. Umgekehrt war etwa bei der Hälfte der Frühreifen auch die weitere Entwicklung beschleunigt; bei der anderen Hälfte hatte sich die Entwicklung normalisiert (Tab. 15).

**Tab. 15:** Verlauf der skelettalen Entwicklung bei früh- und spätreifen Probanden.

Altersklasse (Jahre)	Entwicklungs- Stadium	Anzahl (Gesamt)	Weitere Entwicklung beschleunigt	Weitere Entwicklung normalisiert	Weitere Entwicklung verzögert
12 (11,5-12,5)	Spätreif	13	-	3	10
	Frühreif	15	9	6	-
13 (12,5-13,5)	Spätreif	9	-	-	9
	Frühreif	6	2	4	-
14 (13,5-14,5)	Spätreif	8	-	-	8
15 (14,5-15,5)	Spätreif	6	-	-	6

### 3.5 Wachstumsschub der Mandibula

Eines der Ziele dieser Studie war es gewesen, herauszufinden, ob ein Wachstumsspurt der Mandibula festgestellt werden kann und in welcher Beziehung dieser Wachstumsspurt mit der Entwicklung der Halswirbelkörper steht. Konkret sollte geprüft werden, in welchen Phasen der HWS-Methode nach Lamparski dieser Wachstumsspurt auftritt bzw. ob der Mandibula-Wachstumsschub mit bestimmten Phasen korreliert. Als Maß für das Mandibula-Wachstum wurde die Strecke Artikulare (Ar) - Pogonion (Pg) herangezogen.

Der Zusammenhang zwischen dem mandibulären Wachstumsspurt und der Phase nach Lamparski ist in Tab. 16 dargestellt. Ein klarer Trend ließ sich allerdings nicht erkennen. Bei vier Probanden (33,3%) fiel der Wachstumsspurt mit der Phase 3 nach Lamparski zusammen; bei jeweils drei Probanden (je 25%) mit der Phase 1 bzw. 2. Bei den übrigen beiden Probanden (16,7%) korrespondierte der Wachstumsspurt mit der vierten Phase. In keinem Fall trat der mandibuläre Wachstumsspurt in den Phasen 5 oder 6 auf.

**Tab. 16:** Zusammenhang zwischen mandibulärem Wachstumsspurt und Knochenalter gemäß der Methode nach Lamparski.

Phase nach Lamparski	Probanden (n)	Probanden (%)	Kumuliert (%)
1	3	25,0	25,0
2	3	25,0	50,0
3	4	33,3	83,3
4	2	16,7	100
5	0	0,0	-
6	0	0,0	-
Gesamt	12	100	-

## 4 Diskussion

Die optimale Therapieplanung in der Kieferorthopädie ist eng verbunden mit Wissen um die Phasen des puberalen Wachstumsschubes bzw. des Wachstumsspurts. Die richtige Wahl des Zeitpunktes für den Behandlungsbeginn hat oftmals einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis der Therapie; unter Umständen kann durch die Wahl des richtigen Zeitpunktes sogar eine chirurgische Intervention vermieden werden (Kallmeyer 2001; Baccetti et al. 2002).

Von besonderer Bedeutung für die kieferorthopädische Behandlung sind Fernröntgenseitenbilder (FRS). Diese erlauben die Lage- und Größenbestimmung der Kieferbasen, das heißt, es können metrische Analysen verschiedener Gesichtsschädelstrukturen vorgenommen werden, wie zum Beispiel die Messung der Unterkieferlänge anhand der Strecke Articulare-Pogonion (Ar-Pg). Ferner liefern solche Aufnahmen Informationen zu Zahnstellungen bzw. Fehlstellungen sowie zur Lage der Ober- und Unterkiefer sowie deren Verhältnisse zueinander (DGKFO 1997). FRS eignen sich jedoch auch, um anhand der auf diesen Aufnahmen sichtbaren Halswirbelkörper die skelettale Reife zu beurteilen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Methoden eingeführt die zwischenzeitlich auch hinreichend geprüft sind, wie zum Beispiel die Lamparski-Methode (Lamparski et al. 1972) oder die Methode nach Hassel und Farman (1995) und die Methode nach Baccetti et al. (2002), die beide Modifikationen der Lamparski-Methode darstellen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Methode nach Lamparski und die Methode nach San Roman (2002) im Hinblick auf die skelettale Reife und insbesondere auch im Hinblick auf das mandibuläre Wachstum näher untersucht. Ferner kam zum Zweck dieser Analysen auch der sog. Ossifikationspunkt als Merkmal der skelettalen Reife zum Einsatz, da diesbezüglich bisher in der Literatur kaum Informationen vorliegen. Ein besonderes Interesse galt dem Zusammenhang des puberalen Wachstumsspurts mit den Stadien der verschiedenen Methoden der Skelettreife-Bestimmung.

## 4.1 Intrabeobachter-Fehler

Damit das biologische Alter bzw. das Knochenalter anhand von Fernröntgenseitenbildern (FRS) hinreichend genau beurteilt werden kann, ist ein gewisses Maß an Erfahrung bei der Auswertung erforderlich. Kallmeyer (2001) weist darauf hin, dass sich die Reifezeichen der Halswirbelkörper mitunter nur sehr subtil verändern und bestimmte Unterschiede nicht einfach zu erkennen sind; die Beurteilung könne auch durch eine ungünstige Nackenhaltung erschwert sein.

Um die Zuverlässigkeit der Methode im Hinblick auf den Beobachter (Auswerter der FRS) belegen zu können, kann und sollte im Rahmen von Studien stets der Intrabeobachter-Fehlers (Intrabeobachter-Reliabilität) ermittelt werden: der selbe Beobachter beurteilt die selben Bilder zu einem späteren Zeitpunkt erneut, wobei das Maß der Übereinstimmungen zwischen erster und zweiter Auswertung die Qualität der Methode repräsentiert.

Um die Zuverlässigkeit (Reliabilität) einer Methode als solches beurteilen zu können, wird der sog. Interbeobachter-Fehler ermittelt: zwei Beobachter beurteilen die selben Bilder unabhängig voneinander, wobei wiederum das Maß der Übereinstimmungen zu ermitteln ist. Da sich die Methode der Altersbestimmung anhand von Halswirbelkörpern in vielen Studien bereits als zuverlässig erwiesen hat, wurde auf diese Form der Reliabilitäts-Prüfung allerdings verzichtet. So lag zum Beispiel in der Untersuchung von Franchi et al. (2000) die Reliabilität mit 98,6 Prozent sehr hoch.

In unserer Studie wurden zur Prüfung der Intrabeobachter-Reliabilität nach dem Zufallsprinzip 30 Probanden ausgewählt, deren FRS einige Monate später ein zweites mal ausgewertet werden mussten. Dabei sollte auch festgestellt werden, bei welcher der drei Methoden zur Altersbestimmung (Lamparski, San Roman, Ossifikationspunkt) die größte Übereinstimmung (Reliabilität) zwischen erster und zweiter Auswertung vorlag. Es sollte also festgestellt werden, welche der drei Methoden hinsichtlich der Beurteilung durch den Beobachter die größte Genauigkeit aufweist.

Die größte Reliabilität ergab sich für das Beurteilungsmerkmal "Ossifikationspunkt". Von den 30 zufällig ausgewählten FRS wurden 26 (87%) bei den beiden Auswertungen identisch beurteilt; es wurde also bei der ersten Auswertung genau das selbe Stadium bestimmt

wie bei der zweiten Kontroll-Auswertung einige Monate später. Bei den nicht identisch beurteilten Bildern hatte die Abweichung maximal eine Stadien-Stufe betragen.

Eine ebenfalls große Anzahl an Übereinstimmungen zwischen erster und zweiter Auswertung hatte sich auch im Hinblick auf die Methode nach San Roman ergeben. Dies galt vor allem für die beiden Merkmale "Höhe" und "Form" der Wirbelkörper. Die Reliabilität lag in beiden Fällen bei 83 Prozent: es hatten sich in 25 der 30 Fälle vollkommene Übereinstimmungen ergeben. In den übrigen fünf Fällen betrug die Abweichung wiederum nur maximal eine Stadien-Stufe. Beim Merkmal "Konkavität" hatte sich eine Reliabilität von 77 Prozent ergeben (n=23 von 30).

Die geringste Reliabilität fand sich für die Methode nach Lamparski. Hier hatten sich nur in 21 der 30 Fälle (70%) Übereinstimmungen zwischen erster und zweiter Auswertung ergeben. Die maximale Abweichung auf der 6-stufigen Lamparski-Skala betrug allerdings wiederum nur eine Stufe nach oben oder unten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass alle drei Methoden mit einer Intrabeobachter Reliabilität zwischen 70 und 87 Prozent als hinreichend zuverlässig betrachtet werden können, wobei sich die Methode nach San Roman gegenüber der Methode nach Lamparski als deutlich überlegen erwies. Die größte Reliabilität fand sich für das Merkmal "Ossifikationspunkt", dessen Skala allerdings, mit nur 4 Stufen, ein eher grobes Raster ausweist.

Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit anderen Studien ist nur sehr eingeschränkt möglich. Dies liegt daran, dass vielfach keine Angaben zur Reliabilität gemacht werden; wenn solche Angaben vorliegen, wird oftmals nicht näher erläutert, wie die Berechnungen durchgeführt wurden. Sofern die Frage der Reliabilität bzw. des Inter- oder Intrabeobachter-Fehlers näher beschrieben ist, zeigt sich, dass zur Berechnung unterschiedliche Verfahren zur Anwendung kommen können. So gehen zum Beispiel Pancherz und Szyska (2000) in deren Studie folgendermaßen vor: sie lassen zum Zwecke der Intrabeobachter-Varianz (=Intrabeobachter-Fehler) alle FRS (n=401) viermal zu verschiedenen Zeitpunkten auswerten, so dass sich eine Gesamtzahl von 1604 Auswertungen ergibt. Aus diesen Daten wird anschließend eine Art Mittelwert gebildet, wobei man auf eine Reliabilität von 91,2 Pro-

zent kommt, ein Ergebnis welches deutlich besser ist, als die Ergebnisse aller drei von uns angewandten Verfahren. Allerdings kam bei der Studie von Pancherz und Szyska (2000) zur Reifestadien-Beurteilung der Halswirbelkörper weder die Lamparski-Methode noch die Methode nach San Roman zum Einsatz, sondern die Halswirbelkörperanalyse nach Hassel und Farmann (1995), die noch dazu modifiziert bzw. vereinfacht worden war. Anstatt, wie bei Hassel und Farman (1995) vorgeschlagen, die Wirbelkörper C2 bis C4 zu berücksichtigen, wurde lediglich der Wirbelkörper C3 beurteilt. Es kann also festgestellt werden, dass oftmals keine Angaben zum Verfahren der Reliabilitätsprüfung vorliegen, oder dass, wenn solche Angaben vorliegen, die Verfahren nicht vergleichbar sein müssen. Ferner kommen unterschiedliche Verfahren zur Beurteilung des Reifegrades der Halswirbelkörper zum Einsatz. So finden sich in der Literatur oft modifizierte Versionen des Lamparski-Verfahrens oder auch die bereits erwähnte Methode nach Hassel und Farman (1995), die wiederum ebenfalls modifiziert sein kann. Dennoch dürfte man davon ausgehen können, dass, eine ausreichende Erfahrung vorausgesetzt, alle Methoden eine hinreichende Zuverlässigkeit ausweisen. Zumindest konnte bei der Vielzahl der zum Zwecke dieser Studie berücksichtigen Publikationen, kein Hinweis gefunden werden, der darauf hindeutet, dass die Halswirbelkörper-Methoden keine hinreichende Zuverlässigkeit hinsichtlich der Auswertung aufweisen.

## **4.2 Zusammenhang zwischen Wachstumsspurt und HWS-Reifestadium**

Bereits im Jahr 1972 stellte Lamparski fest, dass die Reifestadien der Halswirbelkörper mit jenen der Handröntgen-Methode klinisch und statistisch gut korrelieren (Lamparski 1972). Diese Beobachtung konnte später auch von einer Reihe weiterer Autoren bestätigt werden (Garcia-Fernandez et al. 1998).

Im Rahmen dieser Studie wurde versucht, diese Zusammenhänge näher zu konkretisieren. Es sollte dargestellt werden, inwiefern der puberale Wachstumsspurt mit den HWS-Methoden nach Lamparski, San Roman und dem Ossifikationspunkt korreliert bzw. in welchem Halswirbelkörper-Reifestadium der Wachstumsschub bevorzugt in Erscheinung



tritt. [Anm.: Sofern im folgenden vom puberalen Wachstum oder vom puberalem Wachstumsspur gesprochen wird, ist stets das Körperlängenwachstum resp. die Größe gemeint, es sei denn, dass explizit etwas anderes ausgesagt wird]

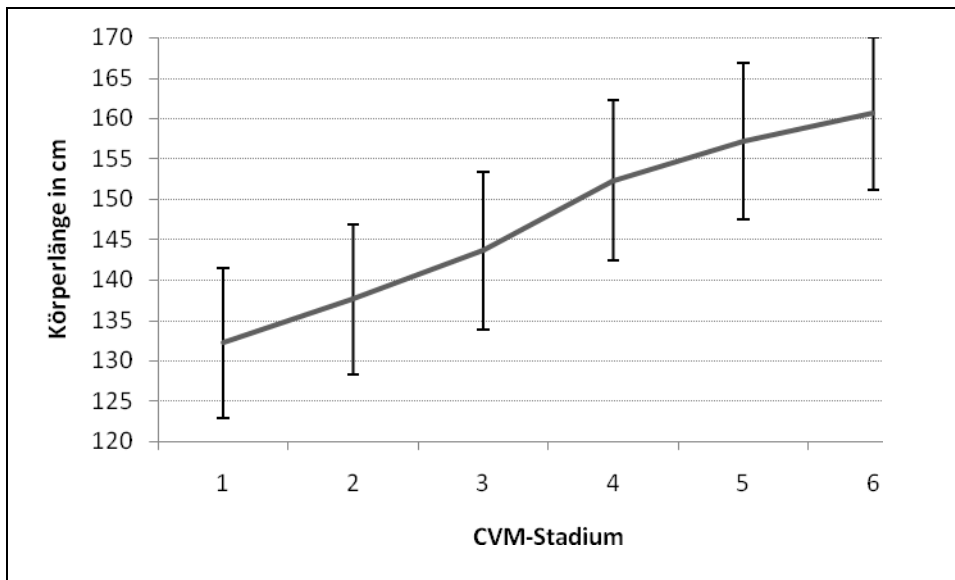
Wie Björk und Helm (1967) zeigen konnten, fällt der puberale Wachstumsspur zeitlich mit dem Auftreten des Sesambeins am Daumen zusammen. Diese Beobachtung konnte später auch von Hägg und Taranger (1982) bestätigt werden. Die Autoren stellten fest, dass die Ossifikation des Sesambeins (Adduktoren-Sesambein des Daumens) in den meisten Fällen in die Phase des puberalen Wachstumsschubes fällt; dies war bei 92 Prozent der Jungen und bei 86 Prozent der Mädchen der Fall. Ferner konnte gezeigt werden, dass während des maximalen puberalen Wachstumsspurts bei nahezu 100 Prozent das Sesambein vorhanden war (Hägg und Taranger 1982). Aus diesen Gründen wurde in der eigenen Studie der Wachstumsspur mit dem Auftreten des Sesambeins am Daumen definiert. Demgemäß ist bei Jungen der Wachstumsspur bei einem skelettalen Alter von 13 Jahren bzw. bei Mädchen von 11 Jahren zu erwarten. Zum Zwecke dieser Analyse wurden folglich aus dem gesamten Datenmaterial jene Fälle selektiert, die sich gemäß des skelettalen Alters in der entsprechenden Altersgruppe befanden. Es verblieben nach dieser Selektion 16 männliche und 40 weibliche Probanden, um die Korrelation zwischen dem Zeitpunkt des Wachstumsspurtes und dem Reifestadium der Halswirbelkörper zu untersuchen.

#### **4.2.1 HWS-Methode nach Lamparski**

In Bezug auf die Methode nach Lamparski konnte festgestellt werden, dass bei den Jungen der Wachstumsspur in 75 Prozent der Fälle mit den Phasen 3 und 4 korrelierte. Bei den Mädchen wurde der Wachstumsspur in 50 Prozent der Fälle während des 3. Stadiums und in 22,5 Prozent der Fälle während des 2. Stadiums beobachtet, trat also tendenziell früher als bei den Jungen auf.

Die Beobachtungen sind im wesentlichen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Franchi et al. (2000), die anhand einer Verlaufsbeobachtung von 15 weiblichen und 9 männlichen Probanden zeigen konnten, dass der puberale Wachstumsspur zwischen den

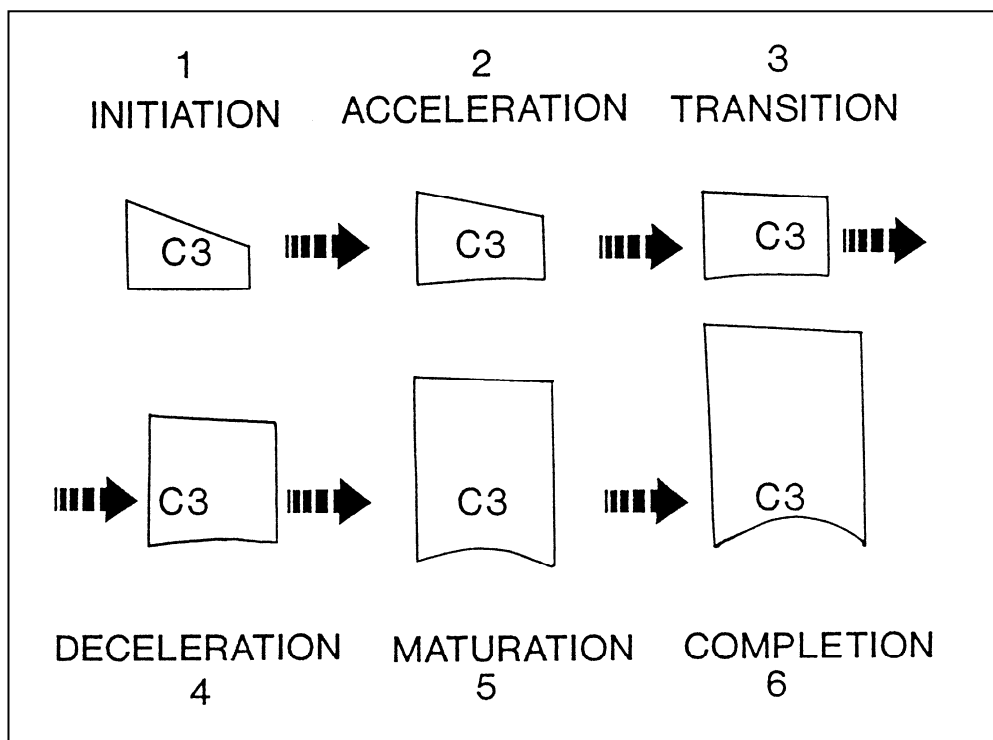
Halswirbelkörper-Reifestadien 3 und 4 stattfindet (Abb. 13). Allerdings wurde in dieser Studie eine modifizierte Lamparski-Methode verwendet, die einen geschlechtsunabhängigen Vergleich zulässt. Dies hat den Vorteil, dass die Ergebnisse männlicher und weiblicher Probanden nicht getrennt voneinander ausgewertet werden müssen (Franchi et al. 2000).



**Abb. 13:** Körperlänge in Abhängigkeit vom HWS-Stadium nach Lamparski (modifizierte Version zur geschlechtsunabhängigen Beurteilung). Grafik erstellt nach den Daten der Tabelle 1 aus (Franchi et al. 2000).

Die Ergebnisse der eigenen Studie sind auch in guter Übereinstimmung mit der Untersuchung von Pancherz und Szyska (2000), bei welchen die HWS-Methode nach Hassel und Farman (1995) zum Einsatz kam. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine modifizierte Version der Lamparski-Methode, wobei ebenfalls eine Einteilung in sechs Reifestadien vorgenommen wird. Allerdings unterscheiden sich die Definitionen der Stadien deutlich zwischen Lamparski und Hassel und Farman. Beurteilt werden nach Hassel und Farman allerdings nur die Wirbelkörper C2 bis C4 (vgl. Abb. 14). Pancherz und Szyska vereinfachten dieses Verfahren dahingehend, dass lediglich die C3-Wirbelkörper beurteilt wurden, da in deren Untersuchungsmaterial oftmals der Wirbelkörper C4 wegen des Schilddrüsen-Schutzes nicht einsehbar war. Die Autoren stellten fest, dass in etwa drei Viertel aller Fälle der Peak des Längenwachstums mit den Stadien 3 und 4 korrespondierte. Die "Peak-Phase" wurde definiert als ein Zeitraum von zwei Jahren; je ein Jahr vor und ein

Jahr nach dem maximalen Wachstum (Peak). Gut ein Viertel aller Probanden (28%) befanden sich während des Stadiums 3 noch in der "Pre-Peak-Phase", also in einer Phase, in welcher der puberale Wachstumsschub mutmaßlich noch nicht begonnen hatte. Während des Stadiums 5 befanden sich nur noch 30 Prozent der Probanden in der Phase des Wachstumsschubes (Peak-Phase); die übrigen Probanden befanden sich bereits in der "Post-Peak-Phase". Letzteres galt auch für alle Probanden im Stadium 6 nach Hassel und Farman (Pancherz und Szyska 2000).



**Abb. 14:** Die sechs zervikalen Reifestadien nach Hassel und Farman (1995).

#### 4.2.2 HWS-Methode nach San Roman

Bei der Methode nach San Roman werden zur Beurteilung des Reifegrades der Halswirbelkörper drei spezifische Eigenschaften unabhängig voneinander beurteilt: die Konkavität, die in sechs Stadien eingeteilt wird, die Wirbelkörper-Höhe mit vier Stadien und die Wirbelkörperform mit ebenfalls sechs Stadien (San Roman et al. 2002).

Wie bereits weiter oben, in Bezug auf die Methode nach Lamparski gezeigt, fiel auch beim San Roman-Merkmal "Konkavität" ein geschlechtsspezifischer Unterschied auf; bei den Jungen korrelierte der puberale Wachstumsspur mit höheren Stadien als bei den Mädchen. Konkret wiesen 87,6 Prozent der männlichen Probanden entweder Stadium 2 oder 3 auf (31,3% und 56,3%). Bei den weiblichen Probanden dominierten hingegen mit einem Anteil von insgesamt 72,5 Prozent die Stadien 1 und 2 (22,5% und 50,0%).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der Lamparski-Methode der puberale Wachstumsschub der männlichen Probanden in drei Viertel der Fälle mit den Stadien 3 und 4 korrelierte, in Bezug auf das Merkmal Konkavität hingegen traf dies mehrheitlich auf die Stadien 2 und 3 zu. Ähnlich verhielt es sich bei den weiblichen Probanden. Während hier bei der Lamparski-Methode die Stadien 2 und 3 dominierten, war dies in Bezug auf die Konkavität für die Stadien 1 und 2 der Fall. Ein direkter Vergleich der beiden Methoden scheint also nicht möglich zu sein. Der Grund für die beobachtete Diskrepanz könnte darin liegen, dass die beiden Methoden nicht gleichermaßen gut geeignet sind, um das Knochenalter zu bestimmen, da sich die Definitionen der Stadien zum Teil voneinander unterscheiden. So stellten zum Beispiel San Roman et al. (2002) fest, dass die Methode nach Lamparski nur relativ schlecht mit der Handröntgen-Methode korrelierte. Man fand für männliche Probanden nur eine Korrelation von  $r=0,69$ ; bei den weiblichen Probanden lag die Korrelation mit  $r=0,79$  etwas höher. Wesentlich geeigneter ist nach Meinung von San Roman et al. (2002) die Methode nach Hassel und Farman mit Korrelationen von  $r=0,77$  für männliche und  $r=0,84$  für weibliche Probanden. Eine ebenfalls hohe Korrelation zwischen der Handröntgenmethode und der Methode nach Hassel und Farman konnten auch Uysal et al. (2006) feststellen ( $r=0,86$ ). Was diese Korrelation in der Praxis bedeutet konnten Garcia-Fernandez et al. (1998) eindrucksvoll aufzeigen. Auch diese Autoren verglichen die Methode nach Hassel und Farman mit der Handröntgenmethode (nach Fishman). Hinsichtlich des Knochenalters ergab sich bei den 10 bis 15-jährigen eine Übereinstimmung von 85 bis 95 Prozent; bei den 14, 16 und 17-jährigen war die Übereinstimmung sogar 100-prozentig (Garcia-Fernandez et al. 1998).

Im Hinblick auf das Merkmal "Höhe" der Wirbelkörper war der puberale Wachstumsspur mit den beiden ersten Stadien der vierstufigen Skala assoziiert. Das zweite Stadium domi-

nierte mit 62,5 Prozent bei den männlichen und 55,0 Prozent bei den weiblichen Probanden etwas vor dem Stadium 1. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede waren wesentlich geringer als bei den beiden oben beschriebenen Methoden. In keinem Fall trat der puberale Wachstumsschub während des dritten oder vierten Stadiums des Merkmals "Höhe" nach San Roman auf.

Obwohl aufgrund der Ergebnisse dieser Studie die Aussage gemacht werden kann, dass der puberale Wachstumsschub eng mit den beiden ersten Stadien assoziiert ist, war die statistische Korrelation in der Studie von San Roman et al. (2002) in Bezug auf das Merkmal "Höhe" eher gering ( $r=0,70$  bei den Mädchen und  $r=0,60$  bei den Jungen). Aufgrund dieser geringen Assoziation würde man annehmen, dass sich anhand der Wirbelkörper-Höhe der Längenwachstumsschub nur schwer identifizieren lässt. Die eigenen Ergebnisse lassen jedoch deutlich erkennen, dass immer dann damit gerechnet werden kann, dass sich Patienten in der Phase des puberalen Wachstumsspurtes befinden, wenn entweder die Stadien 1 oder 2 nach San Roman (Höhe) vorliegen. Ferner scheinen die Stadien 3 und 4 eher das Ende der puberalen Wachstumsphase zu bezeichnen.

Grund für die Diskrepanz zwischen den eigenen Ergebnissen und jenen von San Roman et al. (2002) dürfte sein, dass Letztere die Korrelation mit der Handröntgen-Methode untersuchten, also die Korrelation mit dem Knochenwachstum als Solches, in der eigenen Studie hingegen wurde lediglich der Zusammenhang mit dem puberalen Wachstumsspurt untersucht, der ja nur einen Teil der gesamten Reifungsphase darstellt.

Wie das Merkmal "Höhe", wies auch das Merkmal "Form" der Wirbelkörper bei der San Roman-Methode keine bedeutsamen geschlechtsspezifischen Unterschiede auf; die Verteilung war bei den männlichen und weiblichen Probanden in etwa vergleichbar. Sehr deutlich dominierte in Bezug auf das Merkmal "Form" das Stadium 3 mit 62,5 Prozent bei den männlichen und 70,0 Prozent bei den weiblichen Probanden; die übrigen fünf Stadien spielten nur eine eher untergeordnete Rolle, wobei das Stadium 1 bei gar keinem und das Stadium 6 nur bei einem der Probanden während des Wachstumsschubes beobachtet wurde.

Dieses wiederum relativ eindeutige Ergebnis ist abermals etwas im Widerspruch zu den Beobachtungen von San Roman et al. (2002), die nur eher geringe Korrelationen zwischen dem Merkmal "Form" und dem Knochenwachstum feststellten ( $0,74$  bei den Mädchen und

0,67 bei den Jungen). Die möglichen Gründe für diese Diskrepanz sind im obigen Abschnitt bereits diskutiert. Offensichtlich scheint die Phase des puberalen Wachstumsschubes stärker mit der San Roman-Methode zu korrelieren als die Handröntgenmethode als Solches.

Zusammenfassend kann aufgrund der eigenen Ergebnisse festgestellt werden: Liegt das Stadium 1 des Merkmals "Form" nach San Roman vor, kann davon ausgegangen werden, dass der puberale Wachstumsschub noch nicht begonnen hat. Dieser beginnt frühestens im Stadium 2; in den meisten Fällen erst im dritten Stadium. In den Stadien 4 und 5 fällt das Merkmal "Form" zeitlich nur noch vereinzelt mit dem puberalen Wachstumsschub zusammen; im Stadium 6 ist der Wachstumsspurt beendet.

#### **4.2.3 Ossifikationspunkt**

Zusätzlich zu den beiden bereits etablierten Methoden nach Lamparski und San Roman, wurde in dieser Studie als weiteres Merkmal zur Bestimmung des Knochenalters der sog. Ossifikationspunkt herangezogen. Es handelt sich bei diesem Merkmal um eine längliche knöcherne Struktur, die sich ab einem gewissen Alter an den Unterseiten der Wirbelkörper C3 und C4 ausbildet. In Abhängigkeit von der Entwicklung des Ossifikationspunktes unterscheidet man drei Stadien (vgl. Abschnitt 2.3.3 im Methodikteil). Zum Zwecke der statistischen Analyse wurde in dieser Studie noch das Stadium "0" als viertes Stadium hinzugefügt (noch kein Ossifikationspunkt erkennbar).

Wiederum konnten wesentliche geschlechtsspezifische Unterschiede nicht gezeigt werden. In etwa 40 Prozent der Fälle war während des puberalen Wachstumsspurtes noch kein Ossifikationspunkt erkennbar (Stadium "0"). In den übrigen Fällen (männl. 50,0%; weibl. 62,5%) dominierte klar das Stadium 1. Das Stadium 2 kam lediglich bei einem einzelnen männlichen Probanden, das Stadium 3 bei keinem der Probanden vor.

Aufgrund der Ergebnisse wären die vier Stadien des Ossifikationspunktes wie folgt zu interpretieren: Ist noch kein Ossifikationspunkt zu erkennen, bedeutet dies nicht, dass die Phase des puberalen Wachstumsschubes noch nicht erreicht ist. Bei etwa 40 Prozent der Probanden zeigte sich, dass trotz Abwesenheit dieses Merkmals der Wachstumsschub

bereits begonnen hatte. Findet sich hingegen das Stadium 1, kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Patienten sich im puberalen Wachstumsschub befinden. Die Stadien 2 und 3 repräsentieren eine Phase, in welcher der puberale Wachstumsschub entweder bereits zu Ende ist oder sich zumindest dem Ende zuneigt. Aufgrund der aufgezeigten Ungenauigkeiten scheint der Ossifikationspunkt allenfalls geeignet, um die Ergebnisse einer anderen Methode zu untermauern.

### 4.3 Lineare Regression

Wie im Rahmen zahlreicher Studien gezeigt wurde, korreliert das skelettale Alter mehr oder weniger mit bestimmten definierbaren Merkmalen, wie sie sich etwa bei den HWS-Methoden ergeben. Das skelettale Alter kann anhand bestimmter Stadien abgeschätzt werden. Grundvoraussetzung hierfür ist selbstverständlich, dass es eine Methode gibt, mit welcher das skelettale Alter hinreichend genau bestimmt werden kann. Als Goldstandard dient hierbei fast ausnahmslos die Handröntgen-Methode, wobei zu diesem Zweck verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen können; man kann ohne weiteres davon ausgehen, dass anhand der Handröntgenbilder das skelettale Alter ausreichend gut bestimmt werden kann. In Folge dessen können andere Verfahren und Parameter mit der Handröntgen-Methode verglichen werden. So wurden zum Beispiel die verschiedenen HWS-Methoden meist in Bezug zur Handröntgen-Methode auf deren Genauigkeit hin untersucht. Stellvertretend für die zahlreichen Studien, die mit diesem Ziel bereits durchgeführt wurden, seien an dieser Stelle die beiden wegweisenden Untersuchungen von Lamparski (1972) und San Roman et al. (2002) genannt.

Sofern nun also das skelettale Alter bekannt ist, kann mittels statistischer Methoden geprüft werden, welche Abhängigkeiten zwischen bestimmten Parametern, wie zum Beispiel dem Konkavitäts-Stadium nach San Roman und dem skelettale Alter vorliegen. Dies spiegelt sich in Form der statistischen Korrelation wider. Je höher diese Korrelation ist, desto genauer kann anhand eines bestimmten Parameters folglich das skelettale Alter bestimmt werden. Neben der Korrelation bietet die Statistik noch das Verfahren der linearen Regression an, um anhand eines Merkmals das skelettale Alter bestimmen zu können. Konkret

kann mittels dieses Verfahrens eine mathematische Formel erstellt werden, mit welcher das skelettale Alter berechnet werden kann. Das Verfahren der linearen Regression sagt dabei gleichzeitig noch etwas über die Genauigkeit dieser Berechnung aus, die sich im sog. " $R^2$ -Koeffizienten" ausdrückt. Beträgt dieser Wert "1", so bedeutet dies, dass das skelettale Alter mit einer Genauigkeit von 100 Prozent berechnet werden kann.

Da nun, wie unter anderem auch in dieser Studie gezeigt, mehrere Parameter Beziehungen zum skelettalen Alter aufweisen (bei San Roman z. Bsp. Konkavität, Höhe und Form der Wirbelkörper) bietet es sich an, für die Altersschätzung auch mehrere solcher Faktoren gleichzeitig zu berücksichtigen. Dieses ist mit dem statistischen Verfahren der sog. multiplen linearen Regression möglich; hierbei werden, anstatt nur eines einzelnen Faktors, beliebig viele Faktoren gleichzeitig in die mathematische Formel mit einbezogen. Es liegt auf der Hand, dass die Genauigkeit der Methode mit der Anzahl der berücksichtigten Merkmale oder Faktoren erhöht werden kann. Dies gilt selbstverständlich nur dann, wenn die einzelnen Merkmale auch eine hinreichend hohe Korrelation mit dem Knochenalter aufweisen. Zum Verfahren der multiplen linearen Regression sei an dieser Stelle auch auf den Abschnitt 3.3.1 im Ergebnisteil verwiesen.

Im Zuge dieser Studie wurden für die multiple lineare Regression die drei Parameter nach San Roman (Konkavität, Wirbelkörper-Höhe und -Form) sowie der Ossifikationspunkt berücksichtigt. Erwartungsgemäß wies die Methode dann die größte Genauigkeit auf, wenn alle vier Faktoren gleichzeitig berücksichtigt wurden. Dabei lag der  $R^2$ -Wert bei den männlichen Probanden etwas niedriger als bei den weiblichen (0,78 bzw. 0,84). Nahezu genauso hoch war der  $R^2$ -Wert allerdings auch dann, wenn von den vier Faktoren entweder die Wirbelkörper-Höhe oder die -Form unberücksichtigt blieb. Verzichtete man allerdings auf den Faktor "Konkavität", so verringerte sich der  $R^2$ -Wert etwas (0,74 bzw. 0,81). Dies deutet darauf hin, dass der Wirbelkörper-Konkavität in Bezug auf das skelettale Alter mehr Relevanz zukommt, als den beiden anderen Merkmalen (Höhe und Form).

Interessant war, dass auch bei Berücksichtigung von nur zwei der vier Faktoren zum Teil noch eine sehr hohe Genauigkeit (hoher  $R^2$ -Wert) erreicht werden konnte. Wurden für die Berechnung zum Beispiel nur die Merkmale Wirbelkörper-Höhe und Konkavität berücksichtigt, so ergaben sich fast genauso hohe  $R^2$ -Werte, wie bei Berücksichtigung aller vier Faktoren, nämlich 0,78 bei den männlichen und 0,82 bei den weiblichen Probanden (bei



allen Faktoren: 0,78 bzw. 0,84). Dies lässt erkennen, dass das Verfahren der Bestimmung des skelettalen Alters in der praktischen Anwendung deutlich vereinfacht werden kann, da es genügt, bei der Auswertung der Röntgenbilder lediglich die Stadien der Wirbelkörper-Höhe und der Konkavität zu ermitteln.

Um zu prüfen, welchem der vier Faktoren die mutmaßlich größte Relevanz bei der Altersbestimmung zukommt, wurden Berechnungen durchgeführt, bei welchen nur jeweils einer der vier Faktoren berücksichtigt worden war. Dabei erwies sich das San Roman-Merkmal "Konkavität" als der zuverlässigste Faktor. Allein anhand dieses einen Merkmals ergab sich ein hoher  $R^2$ -Wert von 0,76 bei den männlichen und 0,80 bei den weiblichen Probanden, der damit fast so hoch lag, wie bei Berücksichtigung aller vier Faktoren. Bezogen auf die Praxis bedeutet dies, dass allein mit dem Merkmal "Konkavität" des Wirbelkörpers, eine relativ präzise Schätzung des skelettalen Alters vorgenommen werden kann. Dieses Ergebnis ist in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen von San Roman et al. (2002), die in Bezug auf die Konkavität eine deutlich höhere Korrelation mit dem skelettalen Alter ermittelten, als mit den beiden Merkmalen Form und Höhe der Wirbelkörper. Konkret fanden die Autoren bei den männlichen Probanden eine Korrelation von  $r=0,75$  und bei den weiblichen Probanden sogar eine Korrelation von  $r=0,82$ . Die Autoren stellen im Zuge ihrer Untersuchung fest, dass mit zunehmender Knochenreife die Konkavität kontinuierlich ansteigt. Im Schlusswort ist man der Meinung, dass das Merkmal "Konkavität" (von Wirbelkörper C3 und C4) zur Bestimmung des skelettalen Alters hinreichend genau ist, um die Handröntgenmethode ersetzen zu können (San Roman et al. 2002). Es sei nochmals betont, dass dies für die praktische Anwendung eine enorme Erleichterung bedeutet.

Um die klinisch-praktische Relevanz derartiger Ergebnisse zu veranschaulichen wurde für die drei Merkmale nach der San Roman-Methode (Höhe, Form und Konkavität) eine exemplarische Berechnung durchgeführt. Dabei wurde für jeden einzelnen Probanden anhand der drei San Roman-Faktoren jenes mutmaßliche skelettale Alter errechnet, welches sich aufgrund der Formel ergab, die aus der multiplen linearen Regression abgeleitet worden war. Die Ergebnisse wurden mit dem tatsächlichen Knochenalter gemäß der Handröntgen-Methode verglichen, um die Abweichungen zu ermitteln. Dabei ergab sich bei den weiblichen Probanden ( $R^2$ -Wert = 0,82) folgendes Bild: In zwei Drittel der Fälle war das

errechnete Alter korrekt, das heißt, es lag eine Abweichung von maximal einem Jahr vor; in knapp 30 Prozent der Fälle betrug die Abweichung ein bis zwei Jahre, was im Hinblick auf die Therapieplanung bei kieferorthopädischen Behandlungen noch als ausreichend betrachtet werden kann. Bei den männlichen Probanden war das Ergebnis aufgrund des geringeren  $R^2$ -Wertes von 0,78 erwartungsgemäß etwas schlechter, wobei immer noch bei über der Hälfte (53,4%) eine Abweichung von nur maximal einem Jahr vorlag; bei einem guten Drittel (34,8%) betrug die Abweichung ein bis zwei Jahre.

Abweichungen vom geschätzten skelettalen Alter, die mehr als zwei Jahre betragen erscheinen unzureichend, weil eine zielgerichtete Therapie aufgrund dieser Ungenauigkeit nicht mehr möglich sein dürfte. Bei den männlichen Probanden lag bei einem Anteil von knapp zwölf Prozent eine solche Abweichung vor; bei den weiblichen Probanden war dies nur bei etwa fünf Prozent der Fall.

Auch San Roman et al. (2002) führten eine multiple lineare Regression durch, um aufgrund der von ihnen charakterisierten Eigenschaften (Wirbelkörper-Höhe, -Form und -Konkavität) eine Formel für die Abschätzung des skelettalen Alters aufzustellen. Die Zielgröße war dabei allerdings nicht das Knochenalter direkt, sondern die 10-stufige Knochenreife-Skala der Handröntgen-Methode nach Grave und Brown (1976). Folgende Formel wurde entwickelt:

$$\text{Knochenreife-Stadium} = -0,84 + 0,77 \times \text{Konkavität} + 0,84 \times \text{Höhe} + 0,23 \times \text{Form}$$

Die Korrelation zwischen dem errechneten und dem tatsächlichen Knochenreife-Stadium war bei den Autoren mit  $r=0,85$  für weibliche und  $r=0,79$  für männliche Probanden relativ hoch (San Roman et al. 2002). Leider wurde auf die praktische Relevanz der Ergebnisse nicht näher eingegangen. Es geht aus den Angaben dieser Publikation nicht hervor, wie groß der Anteil der Probanden war, bei welchen das Knochenalter hinreichend genau geschätzt werden konnte bzw. wie groß die Abweichungen der Schätzungen vom tatsächlichen Reifestadium waren. Aufgrund der hohen Korrelation kann man jedoch davon ausgehen, dass das Abweichungsmuster bei San Roman et al. mit dem Muster der eigenen Ergebnisse, wie oben dargestellt, im wesentlichen übereinstimmt.

#### 4.4 Skelettale Entwicklung bei früh- und spätreifen Probanden

Das skelettale und das chronologische Alter zeigen nur eine begrenzte Übereinstimmung. Zwar kann bei einem bestimmten Anteil der Menschen eine Übereinstimmung beobachtet werden, aufgrund der Streuung sind im Wesentlichen jedoch zwei weitere Fälle möglich: 1.) Das chronologische Alter der Patienten ist deutlich höher als das skelettale Alter, wobei man dann von Spätreife sprechen würde. 2.) Das chronologische Alter ist deutlich niedriger als das skelettale Alter, was einer Frühreife entsprechen würde: die Patienten sind von der Knochenreife her älter als das chronologische Alter vermuten lässt.

Um zu prüfen, wie bei früh- und spätreifen Probanden die weitere Entwicklung verläuft, wurden aus den Altersgruppen der 12 bis 15-jährigen Probanden all jene ausgewählt, deren Knochenalter deutlich vom chronologischen Alter abwich. Um den Verlauf beurteilen zu können, war es ferner notwendig, dass von diesen Probanden eine hinreichend große Zahl von Röntgenbildern vorlag. Hinsichtlich des Vorgehens bei der Selektion dieser Probanden sei an dieser Stelle auf den Abschnitt 2.3.6 im Methodikteil verwiesen.

Obwohl die Anzahl der zur Verfügung stehenden Probanden aufgrund der Selektion sehr eingeschränkt war, zeichnete sich doch eine klare Tendenz der weiteren Entwicklung bei früh- und spätreifen Probanden ab. Bei den spätreifen Probanden aller vier Altersgruppen zeigte sich, dass in nahezu allen Fällen (33 von 36) die Entwicklung auch weiterhin verzögert verlief; lediglich in der Gruppe der 12-jährigen normalisierte sich in drei Fällen der weitere Verlauf; es kam hier also zu einem Aufholen des Entwicklungsrückstandes.

Bei den 21 Frühreifen blieb die Entwicklung in etwa der Hälfte der Fälle auch weiterhin beschleunigt (n=11); in den übrigen Fällen (n=10) normalisierte sich der weitere Verlauf: es kam also zu einer Verlangsamung der initial beschleunigten Entwicklung.

Zusammenfassend kann aufgrund dieser Beobachtungen festgestellt werden, dass im Falle einer Spätreife, die weitere Entwicklung im wesentlichen unverändert abläuft - die spätreifen Probanden haben ihre Entwicklung auch verspätet abgeschlossen. Es kommt in dieses

Fällen offensichtlich lediglich zu einer Art Achsenverschiebung, also einer Verschiebung der skelettalen Entwicklung zum höheren Alter hin.

Bei Frühreifen kann in etwa der Hälfte der Fälle damit gerechnet werden, dass sich die Entwicklung im weiteren Verlauf normalisiert. Dies bedeutet, dass es zu einer Verlangsamung des skelettalen Reifeprozesses kommt, und dass die Phase der skelettalen Reife folglich etwas verlängert ist. In der Hälfte der Fälle kommt es aber wiederum lediglich zu einer Achsenverschiebung der skelettalen Entwicklung: die Probanden beginnen ihren skelettalen Reifeprozess früher und schließen diesen dementsprechend auch früher ab.

Eine sichere Prognose hinsichtlich des Entwicklungsverlaufes scheint, zumindest bei Frühreifen, nicht möglich zu sein.

Eine ähnliche Studie wurde bereits Anfang der 1990er Jahre von Silveira et al. (1992) durchgeführt. Allerdings interessierten sich die Autoren vordergründig für die Entwicklung des Kieferwachstums. Konkret wollte man das Kieferwachstum bei Früh-, Normal- und Spätentwicklern während der späten Adoleszenten-Phase untersuchen. Eingeschlossen in die Studie waren also nur Probanden der letzten vier Stadien der 11-stufigen Fishman-Skala, die eine gängige Version der Handröntgen-Methode darstellt. Untersucht wurden sechs Mess-Strecken des Gesichtsschädels bzw. des Kiefers, wie zum Beispiel die Kieferlänge anhand der Strecke Ar-Gn oder Go-Po. Es konnte gezeigt werden, dass bei den Spätentwicklern die Längenzunahme aller Mess-Strecken signifikant größer war als bei den Normal- oder Frühentwicklern; Letzere wiesen die geringsten Zunahmen auf (Silveira et al. 1992). Das Ergebnis ist jedoch nicht im Widerspruch mit den eigenen Beobachtungen. Es konnte ja gezeigt werden, dass bei Spätentwicklern auch der weitere Verlauf der skelettalen Reifung verzögert bleibt (in Bezug zum chronologischen Alter). Durch die Verschiebung der Wachstumskurve kommt es folglich zu einem späteren Auftreten des maximalen puberalen Wachstumsschubes (Wachstums-Peak). Infolge dessen weisen Spätentwickler, im Vergleich zu Früh- oder Normalentwicklern während des letzten Drittels der puberalen Wachstumsphase auch größere Wachstumsraten auf.

## 4.5 Wachstumsschub der Mandibula

In der Kieferorthopädie stellt das mandibuläre Wachstum eine bestimmende Zielgröße dar. Ein bedeutsames Wachstum dieser Struktur wird während der Pubertät bzw. während des puberalen Wachstumsschubes beobachtet (Mitani und Sato 1992). Bereits in den 1960er Jahren stellten einzelne Autoren fest, dass das Mandibula-Wachstum, repräsentiert durch die Mess-Strecken Go-Gn und Ar-Gn, am besten mit dem skelettalen Alter korreliert (Johnston et al. 1965; Hunter 1966; Bergersen 1972).

Die Handröntgen-Methode ist eines der gängigen diagnostischen Instrumente, um zu prüfen, ob der puberale Wachstumsschub gerade beginnt oder ob dieser bereits im Gange oder gar schon abgeschlossen ist (Houston 1980; Sidlauskas 2005). Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass der puberale Wachstumsschub, aber auch das Kieferwachstum eng mit bestimmten Entwicklungs- bzw. Ossifikationsstadien der Hände bzw. Handgelenke assoziiert sind (Tofani 1972; Bergersen 1972; Sidlauskas 2005). Das SMA-System nach Fishman et al. (1982) weist als eine Form der Handröntgen-Methoden eine enge Korrelation zum Kieferwachstum auf; gemäß Sidlauskas et al. (2005) kann der Wachstumsschub der Kiefer anhand dieser Methode bestimmt werden (Sidlauskas et al. (2005).

In mehreren Studien konnte auch gezeigt werden, dass zwischen dem Körperlängen-Wachstumsschub und dem mandibulären Wachstumsschub eine Korrelation besteht (Singh et al. 1967; Bergerson 1972; Fishman 1979). Das Kieferwachstum unterliegt folglich keinem konstanten Entwicklungsprozess; vielmehr konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass das mandibuläre Wachstum während des puberalen Längenwachstumsschubes größer ist, als während der Phasen davor oder danach (Franchi et al. 2000). Die Intensität, der Beginn und die Dauer des mandibulären puberalen Wachstumsschubes unterliegt dabei zwar großen individuellen Schwankungen, in den meisten Fällen fällt das maximale Längenwachstum jedoch mit dem maximalen Kieferwachstum zusammen (Franchi et al. 2000).

Zahlreiche klinische Studien konnten zeigen, dass das beste Ergebnis einer kieferorthopädischen Intervention dann gegeben ist, wenn diese während des puberalen Wachstums

durchgeführt wird (Baccetti et al. 2002), welches ja, wie bereits ausgeführt, mit dem Gesichtsz- bzw. dem Kieferwachstum korreliert. Dem mandibulären Wachstum bzw. dem mandibulären puberalen Wachstumsschub kommt demgemäß eine besondere Bedeutung zu. Das mandibuläre Wachstum verdient aber auch deshalb besondere Aufmerksamkeit, weil diese Knochenstruktur sich während der Adoleszenz am stärksten vergrößert (Gomes und Lima 2006).

Das Vorhandensein eines mandibulären Wachstumsspurts wird teilweise immer noch kontrovers diskutiert. Im allgemeinen geht man jedoch davon aus, dass es einen solchen Spurt gibt. Ein Ziel der eigenen Studie war es, herauszufinden, ob ein solcher Wachstumsspur nachgewiesen werden kann und in welcher Beziehung dieser mit der skelettalen Reifung der Halswirbelkörper steht. Konkret sollte geprüft werden, in welchen Phasen der HWS-Methode nach Lamparski dieser mandibuläre Wachstumsschub auftritt. Als Maß für das mandibuläre Wachstum wurde die Strecke Artikulare-Pogonion (Ar-Pg) herangezogen, welche die gesamte Längenausdehnung des Unterkiefers repräsentiert und somit am ehesten Längenveränderungen erkennen lässt.

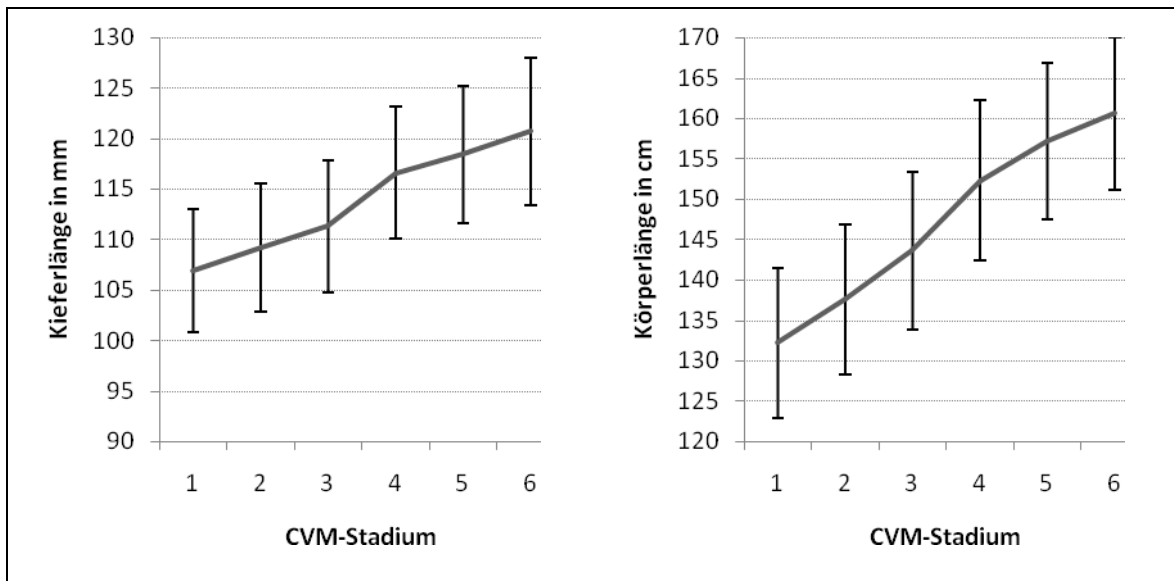
Problematisch bei der Untersuchung dieses Aspektes war, dass zur Verlaufsbeurteilung eine gewisse Mindestanzahl an Röntgenbildern vorhanden sein muss, und dass ferner die Aufnahmeserien in jenen Bereich fallen, in dem der mutmaßliche mandibuläre Wachstumsspur stattfindet. Darüberhinaus müssen die Aufnahmeserien lückenlos sein, was vor allem wiederum für den Bereich des mutmaßlichen mandibulären Wachstumsspurts gilt. Die Problematik ist im Methodikteil (Abschnitt 2.3.6) anhand zweier exemplarischer Abbildungen dargestellt (Abb. 5 und Abb. 6).

Zum Zwecke dieser Analyse blieben aufgrund der methodisch bedingten Umstände lediglich 12 Probanden übrig, bei welchen ein mandibulärer Wachstumsspur gezeigt werden konnte. Bei jeweils drei Probanden (je 25%) trat der Wachstumsspur in der Lamparski-Phase 1 und 2 auf; bei vier Probanden (33,3%) in der Phase 3. Bei den verbleibenden zwei Probanden (16,7%) trat der mandibuläre Wachstumsspur während der Lamparski-Phase 4 auf.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass bei einer Hälfte der Probanden der mandibuläre Wachstumsspurt mit den Phasen 1 und 2 zusammenfällt, bei der anderen Hälfte mit den Phasen 3 und 4. In keinem Fall wurde der mandibuläre Wachstumsspurt während der Phasen 5 und 6 beobachtet.

Es ist zu vermuten, dass es, ähnlich der Entwicklung der Körperlänge, auch bei der Kieferentwicklung zu einem Wachstumsspurt kommt. Schon Anfang der 1970er Jahre konnte Bergersen (1972) einen solchen Zusammenhang aufzeigen. Er stellte fest, dass während der zwei Jahre des puberalen Wachstumsschubes auch das Wachstum der Kieferlänge (Strecke Ar-Gn) größer ist als in den Phasen davor und danach. Die mandibuläre Mess-Strecke betrug im ersten und zweiten Jahr des Längenwachstumsschubes 3,8 bzw. 3,3 mm, in den Zeiträumen davor und danach hingegen lediglich etwa 1,5 bis 2 mm (Bergersen 1972). Infolgedessen wäre zu erwarten, dass der mandibuläre Wachstumsschub mit den Lamparski-Phasen 3 und 4 korreliert, da der Längenwachstumsschub ja während eben diesen beiden Phasen auftritt (Franchi et al. 2000). Im Rahmen der eigenen Studie konnte diese Korrelation allerdings nicht so klar herausgearbeitet werden. Der Grund dafür dürfte in der methodisch bedingten eher geringen Probandenzahl gelegen haben. Hinzu kommt, dass gerade die Lamparski-Methode die geringste Intrabeobachter-Reliabilität aufgewiesen hatte. Man muss aufgrund der eigenen Ergebnisse davon ausgehen, dass die Fehlerquote circa bei 30 Prozent liegt. Sind, wie in unserem Fall, die Probandenzahlen sehr niedrig, muss sich eine solche Ungenauigkeit fast zwangsläufig sehr ungünstig auf das Ergebnis auswirken.

Ähnlich dem eigenen Bemühen, wurde auch bereits in früheren Studien der Versuch unternommen, den Zusammenhang zwischen dem mandibulären Wachstum und dem Reifegrad der Halswirbelkörper darzustellen. So konnten Franchi et al. (2000 und 2001) zeigen, dass der mandibuläre Wachstumsschub zwischen dem 3. und 4. HWS-Stadium einer modifizierten Lamparski-Skala liegt. Gleichzeitig konnte im Rahmen der ersten dieser beiden Studien auch nochmals anschaulich der Zusammenhang zwischen puberalen Längenwachstumsschub und HWS-Stadium dargestellt werden (Abb. 15).

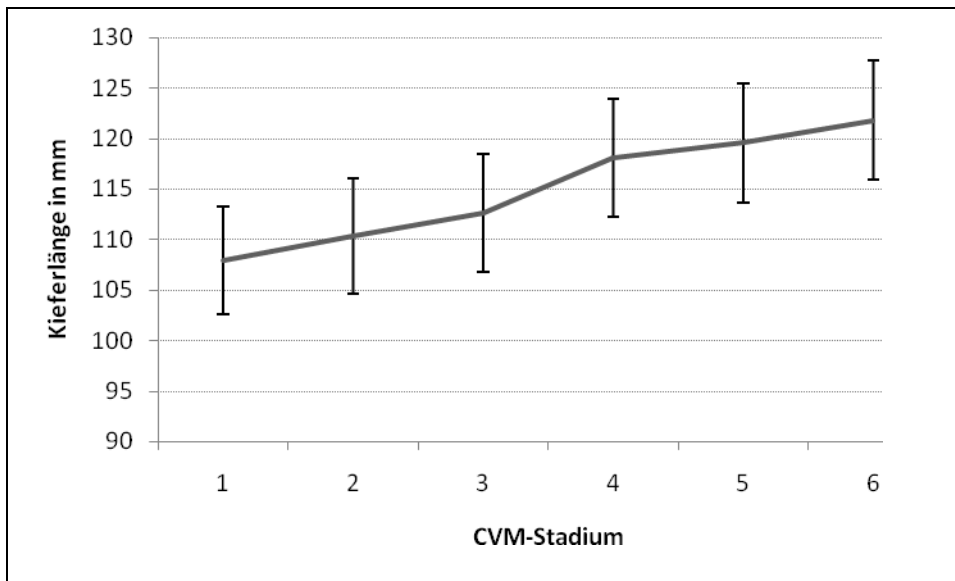


**Abb. 15:** Mandibula-Länge (Strecke Co-Gn) und Körperlänge in Abhängigkeit HWS-Stadium im direkten Vergleich (Daten aus Tabelle1 in Franchi et al. 2000).

Bei allen Jungen (n=9) lag der maximale Kieferwachstumsschub zwischen Stadium 3 und 4; bei den Mädchen (n=15) lag diese Rate bei "nur" 87%, da bei zwei Mädchen der mandibuläre Wachstumsschub zwischen Stadium 4 und 5 aufgetreten war. Zwischen Stadium 3 und 4 betrug die Längenzunahme (Co-Gn) 4,2 mm, in den anderen Stadien 2,4 bis 2,9 mm; die Differenz war statistisch signifikant (Franchi et al. 2000).

Auch bei Baccetti et al. (2002) war das Kieferlängen-Wachstum (Co-Gn) zwischen Stadium 3 und 4 einer modifizierten Lamparski-Skala, mit einer Zunahme von 5,4 mm, am größten; bei dieser Methode wurden nur die Wirbelkörper C2 bis C4 beurteilt (Abb. 16).





**Abb. 16:** Längenzunahme der Mandibula (Strecke Co-Gn) in Abhängigkeit vom Reifegrad der Halswirbelkörper (Daten aus Tabelle 2 in Baccetti et al. 2002).

Eine der jüngsten Studien dieser Art wurde von Gu und McNamara (2007) durchgeführt. Das besondere an dieser Studie ist, dass die Autoren auf das Untersuchungsmaterial von Mathews und Ware (1978) zurückgegriffen haben, in deren Studie Tallium-Implantate zur Identifizierung der Referenzpunkte des Gesichtsschädels verwendet worden waren. Auf diese Weise wird eine sehr genaue Zuordnung und Ausmessung der Referenzpunkte möglich. Auch Gu und McNamara (2007) stellten fest, dass sich der größte Zuwachs des mandibulären Wachstums zwischen den Stadien 3 und 4 befindet; zum Einsatz kam auch hier eine modifizierte Lamparski-Methode. Der Längenzuwachs der Strecke Co-Gn war zwischen Stadium 3 und 4 mit 4,1 mm fast doppelt so groß wie zwischen Stadium 1 und 2; in den übrigen Intervallen fanden sich Längenzunahmen zwischen 1,3 und 3,0 mm .

## 5 Zusammenfassung

In dieser Studie sollte der Zusammenhang zwischen dem Auftreten des puberalen Wachstumsspurts und dem skelettalen Entwicklungsstand der Halswirbelkörper untersucht werden. Der Entwicklungsstand der Halswirbelkörper wurde dazu zum einen mit der Methode nach Lamparski und zum anderen mit der einen Regressionsansatz benutzenden Methode von San Roman bestimmt. Bei der Methode von San Roman werden die verschiedenen Merkmale der Wirbelkörper (Form, Konkavität und Höhe) getrennt erfasst. Zusätzlich wurde ein während der Wirbelkörperentwicklung auftretender Ossifikationspunkt untersucht, der im Laufe der Entwicklung mit dem Wirbelkörper verschmilzt.

Die Untersuchung wurde an Fernröntgenseitenbilder (FRS) zweier longitudinaler Studien aus Groningen (Niederlande) ausgeführt. Die insgesamt 1538 Aufnahmen lagen in Form von digitalisierten FRS vor. Die Form der Wirbelkörper wurde auf dem Bildschirm entsprechend den beiden Methoden beurteilt und zusätzlich der Ossifikationspunkt erfasst. Bei einem Teil der FRS war das anhand von Handröntgenaufnahmen bestimmte skelettale Alter nach Greulich und Pyle bekannt. Die Unterkieferlänge (Artikulare-Pogonion) war bei allen FRS schon ausgemessen worden.

Die Reliabilität wurde anhand einer Wiederholungsbestimmung bei 30 Probanden für die beiden Methoden und der Entwicklung des Ossifikationspunktes bestimmt.

Ergebnisse:

- 1) Anhand der Handröntgenaufnahmen wurden die FRS ausgewählt, bei denen die Probanden am Beginn des Wachstumsspurts standen (erstes Auftreten des Sesambeins). In dieser Gruppe befanden sich 75% aller Jungen in den Stadien 3 und 4 nach Lamparski und 72,5% aller Mädchen in den Stadien 2 und 3.
- 2) Zum Beginn des Wachstumsspurts ergeben sich bei einer getrennten Betrachtung der Wirbelkörpermerkmale (Methode San Roman bzw. Ossifikationspunkt). Die folgenden Werte. Konkavität: 87,6% der männlichen Probanden zeigten die Stadien

2 oder 3, während bei den weiblichen die Stadien 1 (22,5%) und 2 (50 %) auftraten. Höhe: Sowohl bei den männlichen wie den weiblichen Probanden traten nur die Stadien 1 und 2 auf. Form: Das Stadium 3 trat bei 62,5% der männlichen und 70% der weiblichen Probanden auf.

- 3) Bei nahezu allen Probanden der beiden Geschlechter ist zum Beginn des Wachstumsspurts der Ossifikationspunkt nicht sichtbar oder beginnt sich erst zu auszubilden.
- 4) Mit der Hilfe einer multiplen linearen Regression wurde der Zusammenhang zwischen skelettalen Alter und den Entwicklungsstadien der Halswirbel untersucht. Bei Berücksichtigung aller Variablen (Konkavität, Form, Höhe, Ossifikationspunkt) ist die erklärte Varianz des skelettalen Alters ( $R^2$ -Wert) am höchsten (m: 0,78; w: 0,84), doch auch bei der Reduktion auf 1 oder 2 berücksichtigte Variablen werden hohe  $R^2$ -Werte erreicht. Die einzelnen Variablen zeigen also untereinander eine starke Korrelation.
- 5) In Bezug auf die weitere Entwicklung von früh bzw. spätreifen Probanden zeigte sich, dass bei den Spätreifen auch im weiteren Verlauf eine deutliche Tendenz zur Entwicklungsverzögerung vorlag. Umgekehrt war etwa bei der Hälfte der Frühreifen die Entwicklung beschleunigt; bei den übrigen Frühreifen hatte sich die Entwicklung normalisiert.
- 6) Anhand der Unterkieferlängenänderung ließ sich ein Wachstumsspurt nur bei 12 Probanden eindeutig festlegen. Dabei zeigte sich, dass bei einer Hälfte der Probanden der mandibuläre Wachstumsspurt während der Stadien 1 und 2 nach Lamparski stattfindet, bei der anderen Hälfte während der Stadien 3 und 4.

## Abstract

The aim of this study was to investigate the relationship between the pubertal growth spurt and the maturational stage of the cervical vertebrae. Cervical vertebral maturation was assessed by the Lamparski method and, additionally, by the classification of San Roman. In the latter case a statistical regression analyses was performed. According to the San Roman classification, shape, concavity, and height were assessed separately. In addition, we investigated a bony vertebral ossification center that emerges during vertebral maturation and that later merges with vertebral body.

Lateral cephalometric radiographs of two longitudinal studies performed in Groningen (the Netherlands) were used. Overall, 1538 digitized radiographs were available for assessment. Shape of vertebral bodies was examined on the PC-monitor and the stages of the two methods, including the ossification center, were assessed. In some cases skeletal age, estimated by the Greulich and Pyle method, was available. Mandibular length, represented by articulare-pogonion was determined on all radiographs.

Reliability of both methods used and of the ossification center was assessed by repeating the procedure on 30 randomly selected radiographs.

### Results:

- 1) On the basis of hand-wrist radiographs, all cephalometric radiographs of subjects at the onset of their growth spurt (occurrence of the sesamoid bone) were selected. In this subgroup 75% of all males showed Lamparski stage 3 or 4 and 72,5% of all females showed stage 2 or 3.
- 2) At the onset of the growth spurt, the following observations were made with regard to the San Roman method and the ossification center.
 

Concavity: in 87,6% of the male subjects stages 2 or 3 were found, whereas females most often showed stage 1 (22,5%) and 2 (50%).

Height: in both male and female subjects only stage 1 or 2 occurred.

Shape: stage 3 occurred in 62,5% of the male and in 70% of the female subjects.

- 3) At the onset of the growth spurt, the ossification center was not visible or just barely visible in nearly all male and female subjects.
- 4) The relationship between skeletal age and vertebral maturation was explored with multiple linear regression analysis. Including all variables in the equation: concavity, shape, height, and the ossification center, explained variance of skeletal age ( $R^2$  value) was maximal (male  $R^2$  was 0,78 and for females it was 0,84.) Yet, the inclusion of only one or two variables also lead to high  $R^2$  values, indicating a strong correlation between these variables.
- 5) Regarding the longitudinal aspect of skeletal development in early and late maturing subjects, it could be shown that late maturing subjects tended to remain late in the course of their development. On the other hand, in only about half of the early maturing subjects the further development remained early, while in the other half a normalization of development occurred.
- 6) In only 12 subjects a clear mandibular growth spurt could be recognized. Half of these mandibular growth spurts occurred during stages 1 or 2 of Lamparski, in the other half the spurt occurred during stages 3 or 4.

## 6 Literaturverzeichnis

Alkhal HA, Wong RW, Rabie AB 2008

Correlation between Chronological Age, Cervical Vertebral Maturation and Fishman's Skeletal Maturity Indicators in Southern Chinese.

Angle Orthod 78:591-596

Arat M, Köklü A, Ozdiler E, Rübendüz M, Erdoğan B 2001

Craniofacial growth and skeletal maturation: a mixed longitudinal study.

Eur J Orthod 23:355-361

Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr 2002

An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth.

Angle Orthod 72:316-323.

Bambha JK 1961

Longitudinal cephalometric roentgenographic study of face and cranium in relation to body height.

J Am Dent Assoc 63: 776-799

Bergersen EO 1972

The male adolescent facial growth spurt: its prediction and relation to skeletal maturation.

Angle Orthod 42:319-338

Björk A, Helm S 1967

Prediction of the age of maximum puberal growth in body height.

Angle Orthod 37:134-143

Björk A 1972

Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation.

Trans Eur Orthod Soc 48:61-74

Brown T, Barrett MJ, Grave KC 1971

Facial growth and skeletal maturation at adolescence.

Tandlaegebladet 75:1211-1222.

Chapman SM 1972

Ossification of the adductor sesamoid and the adolescent growth spurt.

Angle Orthod 42:236-244.

Damian MF, Cechinato F, Molina RD, Woitchunas FE 2007

Relationship between cranial and mandibular growth and the stages of maturation of the cervical vertebrae.

J. Appl. Oral Sci 15:115-119

Demirjian A, Buschang PH, Tanguay R, Patterson DK 1985

Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity.

Am J Orthod 88:433-438

DGKFO (Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie) 1997

Indikation und Häufigkeit von Röntgenaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie.

Fortschr Kieferorthopädi 58:286-287

Fishman LS 1979

Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth.

Angle Orthod 49:181-189

Fishman LS 1982

Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films.

Angle Orthod 52:88-112

Fleischer-Peters A 1986

Die Bedeutung der Wachstumsstadien bei der kieferorthopädischen Behandlungsplanung.  
Zahn-Mund-Kieferheilk 74:450

Franchi L, Baccetti T, McNamara JA Jr 2000

Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 118:335-340

Franchi L, Baccetti T, McNamara JA Jr. 2001

Thin-plate spline analysis of mandibular growth.

Angle Orthod 71:83-89

Gandini P, Mancini M, Andreani F 2006

A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation.

Angle Orthod 76:984-989

García-Fernandez P, Torre H, Flores L, Rea J 1998

The cervical vertebrae as maturational indicators.

J Clin Orthod 32: 221-225.

Gomes AS, Lima EM 2006

Mandibular growth during adolescence.

Angle Orthod 76:786-790



Grave KC 1974

Timing of facial growth: a study of relations with stature and ossification in the hand around puberty.

Am J Orthod 65:320

Grave KC, Brown T 1976

Skeletal ossification and the adolescent growth spurt.

Am J Orthod 69:611-619

Green LJ.

The interrelationship among height, weight and chronological age, dental and skeletal ages.

Angle Orthod 1961 31:189-193

Greulich WW, Pyle SI 1959

Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. Second Edition

Stanford University Press

Gu Y, McNamara JA 2007

Mandibular growth changes and cervical vertebral maturation. a cephalometric implant study.

Angle Orthod 77:947-953.

Hägg U, Matsson L 1985

Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods.

Eur J Orthod 7:25-34.

Hägg U, Taranger J 1980a

Menarche and voice change as indicators of the pubertal growth spurt.

Acta Odontol Scand 38:179-186.

Hägg U, Taranger J 1980b

Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt.

Acta Odontol Scand 38:187-200

Hägg U, Taranger J 1982

Maturation indicators and the pubertal growth spurt.

Am J Orthod 82: 299-309

Hägg U, Taranger J 1985

Dental development, dental age and tooth counts.

Angle Orthod 55:93-107.

Hassel B, Farman AG 1995

Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 107:58-66

Hellman M 1928

Ossification of epiphysial cartilages in the hand.

Am J Phys Anthropol 11:221-243

Houston WJ, Miller JC, Tanner JM 1979

Prediction of the timing of the adolescent growth spurt from ossification events in hand-wrist films.

Br J Orthod 6:145-152

Houston WJ 1980

Relationships between skeletal maturity estimated from hand-wrist radiographs and the timing of the adolescent growth spurt.

Eur J Orthod 2:81-93

Hunter CJ 1966

The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence.  
Angle Orthod 36:44-54

Isaacson KG, Thom AR 2001

Guidelines for the use of radiographs in clinical orthodontics.  
British Orthodontic Society, UK

Johnston FE, Hufham HP Jr, Moreschi AF, Terry GP 1965

Skeletal Maturation and Cephalofacial Development.  
Angle Orthod 35:1-11

Kallmeyer C 2001

Das Wachstum liegt auf der Hand. Handröntgenaufnahmen und Alternativen.  
Zahnärztliche Mitteilungen 15:26-29  
[www.zm-online.de; Stand: 20.02.2008]

Kimura K 1977

Skeletal maturity of the hand and wrist in Japanese children in Sapporo by the TW2 method.  
Ann Hum Biol 4:449-453

Kucukkeles N, Acar A, Biren S, Arun T 1999

Comparisons between cervical vertebrae and hand-wrist maturation for the assessment of skeletal maturity.  
J Clin Pediatr Dent 24:47-52

Lamparski DG; Nanda SK 2002

“Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae.” In Treatment Timing: Orthodontics in four dimensions” , Editor James A McNamra, Jr., Katherine A. Kelly, Volume 39, Craniofacial Growth Series, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan

Lewis AB, Roche AF, Wagner B 1985

Pubertal spurts in cranial base and mandible. Comparisons within individuals.

Angle Orthod 55:17-30

Mathews JR, Ware WH 1978

Longitudinal mandibular growth in children with tantalum implants.

Am J Orthod 74:633-655

Mitani H, Sato K 1992

Comparison of mandibular growth with other variables during puberty.

Angle Orthod 62:217-222

Mito T, Sato K, Mitani H 2003

Predicting mandibular growth potential with cervical vertebral bone age.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 124:173-177

Moore RN, Moyer BA, DuBois LM 1990

Skeletal maturation and craniofacial growth.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 98:33-40

O'Reilly MT, Yanniello GJ 1988

Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae--a longitudinal cephalometric study.

Angle Orthod 58:179-184

Pancherz H, Szyska M 2000

Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife.

Inf Orthod Kieferorthop 32:151-161

Sadowsky PL 1998

Craniofacial growth and the timing of treatment.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 113:19-23

San Román P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E 2002

Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development.

Eur J Orthod 24:303-311

Sato K, Mito T, Mitani H 2001

An accurate method of predicting mandibular growth potential based on bone maturity.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 120:286-293

Schwarze CW 2000

Behandlungsprinzipien: Behandlungsbeginn und Behandlungsdauer.

In: Kieferorthopädie II. Praxis der Zahnheilkunde 11/II. Diedrich P. (Hrsg.).

Urban und Fischer Verlag, München:101-108

Sidlauskas A, Zilinskaite L, Svalkauskiene V 2005

Mandibular pubertal growth spurt prediction. Part one: Method based on the hand-wrist radiographs.

Stomatologija 7:16-20

Silveira AM, Fishman LS, Subtelny JD, Kassebaum DK 1992

Facial growth during adolescence in early, average and late maturers.

Angle Orthod 62:185-190

Singh IJ, Savara BS, Miller PA 1967

Interrelations of selected measurements of the face and body in pre-adolescent and adolescent girls.

Growth 31:119-131

Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H 1975  
 Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW 2-method).  
 Academic Press, London-New York-San Francisco

Tanner JM, Whitehouse RH 1976  
 Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty.  
 Arch Dis Child 51:170-179

Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N 2001  
 Assessment of skeletal maturity and prediction of adult high (TW3 method).  
 WB Saunders, London

Thompson GW, Popovich F 1973  
 Relationship of craniofacial changes and skeletal age increments in females.  
 Hum Biol 45:595-603

Tofani MI 1972  
 Mandibular growth at puberty.  
 Am J Orthod 62:176-195

Uysal T, Ramoglu SI, Basciftci FA, Sari Z 2006  
 Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and hand-wrist: is there a relationship?  
 Am J Orthod Dentofacial Orthop 130:622-628

Van der Linden FP 1996  
 Praktische Kieferorthopädie.  
 Van der Linden FP (Hrsg.)  
 Quintessenz, Berlin

## **7 Anhang**

## 8. *Lebenslauf*

<b><u>Name:</u></b>	<b>Michael Dietz-Magel</b>
<b><u>Geburtsdatum:</u></b>	<b>27.10.1981</b>
<b><u>Geburtsort:</u></b>	<b>Alsfeld</b>
<b><u>Staatsangehörigkeit:</u></b>	<b>deutsch</b>
<b><u>Eltern:</u></b>	<b>Dr. Burckhard Dietz-Magel, Allgemeinarzt Doris Dietz-Magel, MTA</b>
<b><u>1988-1992</u></b>	<b>Astrid-Lindgren Grundschule in Grebenau</b>
<b><u>1992-1998</u></b>	<b>Hermann-Lietz Schule Schloss Hohenwerda in Hohenwerda</b>
<b><u>1998-2001</u></b>	<b>Hermann-Lietz Schule Schloss Bieberstein in Bieberstein</b>
<b><u>30.05.2001</u></b>	<b>Allgemeine Hochschulreife</b>
<b><u>2001-2002</u></b>	<b>Zivildienst Im Institut „ Hilfe für Krebs kranke Kinder In Frankfurt/Niederrad</b>
<b><u>WS2002</u></b>	<b>Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Philippps- Universität Marburg</b>
<b><u>23.09.2003</u></b>	<b>Naturwissenschaftliche Vorprüfung</b>
<b><u>11.04.2005</u></b>	<b>Zahnärztliche Vorprüfung</b>
<b><u>06.07.2005</u></b>	<b>Annahme als Doktorand des Fachbereichs Medizin, Marburg</b>
<b><u>11.12.2007</u></b>	<b>Approbation als Zahnarzt</b>
<b><u>seit 01.04.2008</u></b>	<b>Assistenz Zahnarzt in Staufenberg</b>



## **9. Verzeichnis der Akademischen Lehrer**

Meine Akademischen Lehrer an der Philipps-Universität Marburg waren die Damen und Herren.

Aumüller, Austermann, Barth, Bauer, Coca, Czubayko, Dibbets, Ellers, Flores-de-Jacoby, Gente, Glörfeld, Holzheidt, Höffken, Lehman, Lill, Löffler, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Jablonski Momeni, Mutters, Neff, Pieper, Ramaswamy, Rogausch, Sonntag, Stachniss, Steininger, Stelzel, Stoll, Suske, Umstadt, Westermann, Werner

## **10. Danksagung**

Ich möchte mich bei Herren Professor Dr. J.M.H Dibbets, ehemaliger Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ganz herzlich für die intensive und kompetente Betreuung während der ganzen Zeit bedanken. Vielen Dank auch an alle anderen Mitarbeiter der Abteilung für Kieferorthopädie für ihre stets freundliche und zuvorkommende Art.

Ein ebenso großer Dank gilt Dr. Bernd Müller für seine Unterstützung und seine stete Hilfsbereitschaft bei allen Fragen.

Ein besonders großer Dank gilt meiner Familie, die immer an mich geglaubt haben und während dieser Zeit immer für mich da waren. Dafür danke ich ganz besonders meinem Vater Dr. Burckhard Dietz-Magel, meiner Oma Marlis Dietz, meinem Opa Karl Kratzenberg und meiner Schwester Patricia Dietz-Magel

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meiner Freundin Angelika für alles!

